



Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 940–2017

Förbättrad diametermätning i skördare – En pilotstudie med åtta Ponsse slutavverknings-skördare

Improved diameter measurement in harvesters:
A pilot study using eight Ponsse harvesters for final felling

Maria Nordström och Björn Hannrup

Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 940–2017

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

Titel:

Förbättrad diametermätning i skördare - en pilotstudie med åtta Ponsse slutavverknings-skördare.
Improved diameter measurement in harvesters: A pilot study using eight Ponsse harvesters for final felling.

Bildtext:

Studie av körteknikens påverkan på skördarens diametermätning.
Foto: Maria Nordström, Skogforsk.

Ämnesord:

Skördare, skördaraggregat, diametermätning, mätteknik, Ponsse.
Harvester, harvester head, diameter measurement, measurement technology, Ponsse.

Redigering och formgivning:

Ingegerd Hallberg

© Skogforsk 2017

ISSN 1404-305X



SKOGFORSK

Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala

Tel: 018-18 85 00 Fax: 018-18 86 00

skogforsk@skogforsk.se

skogforsk.se



Maria Nordström, TeknLic. Jobbar sedan 2008 med frågor kring virkesvärde på Skogforsk. Fokus ligger på utveckling av dimensionsmätning i skördare, kvalitetssäkring samt användning av skördardata.



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

Abstract

In harvesters, length and diameter of stems are measured using contact technology. This data is vital for optimisation of bucking the stems into logs. Dimension measurement is thereby crucial for the forestry sector's ability to supply logs that match sawmill orders, and contributes to efficient utilisation of raw material.

Current technology for diameter measurement is well established, but there is still potential to increase average measurement precision of harvesters within the scope of current technology. To realise this potential, greater understanding is needed of how underlying factors affect measurement precision.

The aim of this study was to investigate how precision in diameter measurement is affected by pressure settings of feed rollers and delimiting knives and the operator's skills. Another aim was to investigate whether the stem grasp measure developed by Ponsse to describe the proportion of cuts in flat areas and areas of stem hack could be used as an indirect measure of the harvester's precision in diameter measurement.

The study involved eight harvester teams from southern Sweden, all of which used the Ponsse H7 harvester head. For half of the teams, stem diameter was measured using information from sensors placed in the harvester head feed rollers. For the other teams, stem diameter was measured using information from sensors placed in the front delimiting knives. All harvester teams were certified according to the quality assurance system for harvester diameter measurements.

Data were collected about the pressure settings for delimiting knives and feed rollers, along with certain information from the harvester control systems, such as fuel consumption, average feeding speed and calculated stem grasp. Data from the operators' manual control measurements (ktr-files) were used to describe measurement precision. The relationship between, for example, measurement precision and pressure settings was analysed. This involved analysis of the association between changes in pressure settings between defined time periods and corresponding changes in measurement precision.

Förord

Kraven på de produkter som skördaren producerar ökar i takt med att sågverkens önskemål blir alltmer specifika. Aktiviteter som bidrar till att förbättra diametermätningen i skördare har därför under flera år varit högt prioriterad inom Skogforsks samverkansgrupp för virkesfrågor – Brukargrupp Virkesvärde. Skogforsk har i nära samarbete och dialog med maskin- och systemtillverkare, skogsföretag samt VMF:s skördarrevisorer drivit projekt med det övergripande syftet att höja kunskapsnivån i hela branschen kring mätning i skördare.

De delar av det arbetet som redovisas i form av denna rapport har i första hand utförts tillsammans med Ponsse och VMF Syd. Vi vill rikta ett stort tack för fint samarbete och stort engagemang till Teemu Paldanius, Urban Folkesson, Peter Sundlöf och Jukka Leinonen, Ponsse samt Jonas Hemmingsson och Felix Hermansson, VMF Syd. Ett stort tack även till Lars Henriksson, SDC, som hjälpt oss att plocka fram data ur SDC:s system. Sist men inte minst vill vi tacka alla medverkande skördarlag för visat intresse samt hjälpsamhet och gott samarbete vid datainsamlingen!

Studien har finansierats av medel från Skogforsks ramanslag.

Uppsala i maj 2017

Maria Nordström och Björn Hannrup

Innehåll

Förord	1
Sammanfattning.....	3
Bakgrund	5
Erfarenheter från förstudie med John Deere	7
Syfte, projektmål och avgränsningar	12
Material och metoder.....	13
Övergripande studieupplägg	13
Datainsamling.....	14
Beräknade variabler	18
Analyser.....	21
Resultat och Diskussion	21
Produktionsförutsättningar under referensperioderna	21
Mätprecision för skördarnas diametermätning.....	24
Samband mellan mätprecision och tryckinställningar	27
Stamhållning	35
Samband mellan mätprecision från manuell kontrollmätning och stamhållning.....	37
Samband mellan tryckinställningar och stamhållning.....	41
Samband mellan tryckförändringar och övriga EcoDrive variabler.....	42
Samband mellan förarens körteknik och skördarens mätprecision.....	45
Sammanfattande diskussion.....	46
Referenser.....	47
Bilaga 1. Tryckkurvor	49
Bilaga 2. Nyckeltal från den manuella referensmätningen av diameter.....	53

Sammanfattning

I skördare mäts längd och diameter med berörande teknik och denna mätinformation utgör grundbulten för optimeringen av stammarnas sönderdelning till stockar. Dimensionsmätningen är därmed en avgörande faktor för skogsbrukets förmåga att leverera stockar enligt sågverkens beställningar och bidra till ett effektivt råvaruutnyttjande. Dagens teknik för diamettermätning har använts under lång tid men det finns fortfarande en potential att öka skördarnas genomsnittliga mätprecision inom ramen för nuvarande teknik. För att kunna utveckla hjälpmedel som möjliggör ett tillvaratagande av denna potential är det viktigt med ökad förståelse kring hur underliggande faktorer påverkar mätprecisionen.

Målet med studien var att undersöka hur mätprecisionen i skördarnas diamettermätning påverkades av tryckinställningar för matarvalsar och kvistknivar samt av förarens körstil. Ett ytterligare mål var att undersöka om det av Ponsse framtagna stamhållningsmättet som beskrev andelen kap i planområde/stamhack kunde användas som ett indirekt mått på skördarnas mätprecision i diamettermätningen.

Studien omfattade åtta skördarlag från södra Sverige, samtliga utrustade med Ponsse H7 skördaraggregat. För hälften av lagen skedde diamettermätningen med hjälp av information från givare placerade i skördaraggregatets matarvalsar medan diamettermätningen för övriga lag skedde med hjälp av information från givare placerade i de främre rörliga kvistknivarna. Samtliga skördarlag var kvalitetssäkrade enligt systemet för kvalitetssäkring av skördarnas dimensionsmätning.

I studien samlades data över skördarnas tryckinställningar för kvistknivar och matarvalsar samt utvald information från skördarnas styrsystem till exempel bränsleförbrukning, matningshastighet och beräknade stamhållningsmått. För att beskriva skördarnas mätprecision utnyttjades data från förarnas manuella kontrollmätningar (ktr-filer). Analyserna av förhållandet mellan t.ex. mätprecision och tryckinställningar gjordes framförallt inom skördare genom analys av sambandet mellan förändringen av tryckinställningen mellan definierade tidsperioder och motsvarande förändring av mätprecisionen.

Resultaten från studien kan sammanfattas enligt följande:

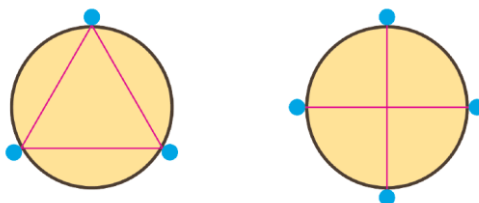
- Det fanns *inom skördare* ett starkt samband ($R^2=0,95$) mellan mätprecisionen för diametermätningen och tryckinställningar för matarvalsar och kvistknivar. Sambandet var starkare för grövre diameterklasser än för klenare klasser. För diameterklassen 200–300 millimeter i gran ökade mätprecisionen med ökande tryck för det mätande organet upp till en tryckökning på 25 procent; för större tryckökningar noterades ingen ytterligare ökning av mätprecisionen. Sambandet indikerade att förändrade tryckinställningar skulle kunna medföra en 25-procentig förbättring av mätprecisionen för gruppen av skördare som följdes, vilket motsvarade en sänkning av standardavvikelsen för avvikelsen, mellan manuellt referensmätt diameter och skördarmätt diameter på 1,3 millimeter.
- Det fanns *mellan skördare* inget samband mellan mätprecisionen för diametermätningen och tryckinställningar för matarvalsar och kvistknivar. Detta innebär att de tryckinställningar som är optimala med avseende på diametermätningen kan betraktas som unika för den enskilda skördaren.
- Data från studien indikerade att det för skördare med mätning i främre kvistknivar fanns ett samband mellan det studerade stamhållningsmättet andel kap i planområde/stamhack och mätprecisionen vid diametermätningen utifrån manuell kontrollmätning. Andelen kap i planområde/stamhack skulle därmed potentiellt kunna användas som ett indirekt mått på mätprecisionen och tillsammans med data från manuella kontrollmätningar utgöra informationsbasen vid utveckling av hjälpmedel för inställning av kvistknivs- och matarvalstryck.
- Baserat på data från ett fältförsök visade studien att en följsam körstil hade en positiv påverkan på mätprecisionen i skördarens diametermätning och att inverkan var större för de grövre diameterklasserna. Vidare studier bör utformas så att de möjliggör identifiering av vilka arbetsmoment som orsakar skillnader.
- Inget uppenbart ogynnsamt samband noterades mellan ökat tryck för matarvalsar och kvistknivar och produktivitetsrelaterade parametrar som genomsnittlig matningshastighet och bränsleförbrukning. Detta resultat var dock förknippat med en viss osäkerhet och det är angeläget att vidare studier genomförs inom detta område.

Sammanfattningsvis har studien bidragit med ökad kunskap kring underliggande faktorer påverkan på mätprecisionen för skördarnas diametermätning. Grunden är därmed lagd för vidare utvecklingsinsatser i syfte att ta fram hjälpmedel som kan bidra till att öka skördarnas mätprecision.

Bakgrund

I skördare mäts längd och diameter med berörande teknik och denna mätinformation utgör grundbulten för optimeringen av stammarnas sönderdelning till stockar. Dimensionsmätningen är därmed en avgörande faktor för skogsbrukets förmåga att leverera stockar enligt sågverkens beställningar och bidra till ett effektivt råvaruutnyttjande. Dagens teknik för diametermätning har använts under lång tid men det finns fortfarande en potential att öka skördarnas genomsnittliga mätprecision inom ramen för nuvarande teknik. För att kunna utveckla hjälpmedel som möjliggör ett tillvaratagande av denna potential är det viktigt med ökad förståelse kring hur underliggande faktorer påverkar mätprecisionen.

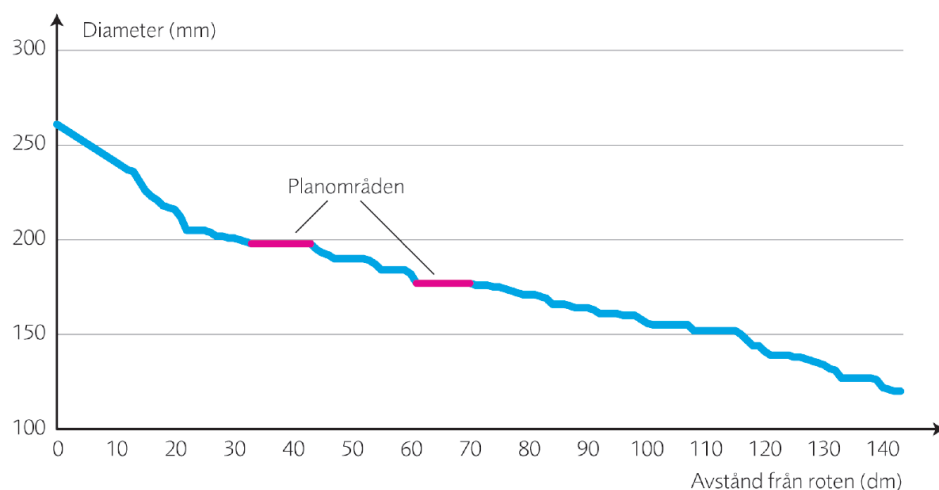
Tekniken att med hjälp av sensorer i kvistknivar eller matarvalsar mäta diameter i skördaraggregat har i stort sett varit densamma sedan de första mätsystemen kom tillsammans med apteringsdatorerna på 1980-talet (Sondell & von Essen, 1996). Vid diametermätningen registrerar moderna skördaraggregat vanligtvis minst tre punkter omkring stammen vid varje måttställe (figur 1). Skördardatorn skattar sedan stammens diameter utifrån dessa mätpunkter. För rotdelen av stammen, där aggregatet inte har mätt någon diameter, beräknas diametern med hjälp av en funktion för stammens avsmalning. Om skördaren registrerar en stigande diameter på stammen vid matning från rot till topp, t.ex. vid ett kvistvarv, kommer datorn filtrera mätvärdena och skapa ett s.k. planområde till dess att diametern är tillbaka på utgångsvärdet igen (figur 2). Stammens längd mäts under upparbetning med ett mätjul som är monterat i bröstet på aggregatet.



Figur 1.

Moderna skördaraggregat skattar stammens diameter på varje måttställe som diametern hos en cirkel vars diameter bestäms antingen genom skattning utifrån tre mätpunkter (trepunktsmätning, t.v.) eller som genomsnittet av diametern i två mätriktningar (fyrapunktsmätning, t.h.).

Modern harvesters estimate stem diameter at every measuring point as the diameter of a circle whose diameter is determined either by estimation from three reference points (three-point measurement, left) or as the average of two diameters, measured in two directions (four-point measurement, right).



Figur 2.

Mättonen har registrerat en stamprofil (blå) där diametern vid ett antal tillfällen stiger mot toppen. Skördardatorn filtrerar bort dessa diameterökningar och sätter i stället diametern till oförändrad tills den är tillbaka på ursprungsvärdet igen. Detta skapar s.k. planområden (exempel markerade i rosa) i stamprofilen.

Figure 2.

The measuring devices have registered a stem profile (blue line) where diameter values increase towards the top of the stem on several occasions. The harvester computer will filter the increasing diameters and register constant diameter values until the diameter is back to baseline level again. This creates flat areas in the stem profile (examples shown as pink line).

Tidigare uppföljningar av skördares mätnoggrannhet (Möller m.fl. 2002; Möller m.fl., 2008; Nordström m.fl., opubl.) visar att moderna skördaraggregat klarar att mäta stammens dimensioner med hög precision när förutsättningarna är de rätta. Tidigare studier (Nordström & Möller, 2013; Arlinger m.fl., 2014) samt ett flertal intervjuer med skördarförare, revisorer inom kvalitetssäkringssystemet, tjänstemän och maskintillverkare pekar på en rad faktorer som påverkar skördarens mätning:

- **Maskinval** – En grundförutsättning för bra mätning är att skördarens storlek är anpassad till beståndet så att tillräcklig kraft finns för att hålla i trädet under upparbetning (Arlinger m.fl., 2014; Nordström m.fl., opubl.).
- **Tekniskt underhåll** – Mekaniska fel och förslitningar på diametergivare, kvistknivar, matarhjul och mätthjul påverkar mätningen negativt.
- **Maskininställningar** – Inställningar för tryck på kvistknivar, matarhjul och mätthjul, matningshastighet etc. har betydelse för skördarens möjligheter att mäta bra.
- **Kalibrering** – Mätssystemet måste vara justerat så att inga systematiska över- eller underskattningar av längd och diameter förekommer.
- **Körstil** – Faktorer som förarens skicklighet i att följa stammen med kranen under matning och huruvida föraren tar stöd vid kapning av tunga stockar påverkar mätresultatet. Att körstilens sannolikt har betydelse för mätresultatet har konstaterats vid tidigare studier. Effekten har dock inte kvantifierats.

- **Yttre faktorer** – Beståndsegenskaper (trädens ovalitet, kvistighet, grovlek, bark etc.), temperatur, savningsperiod etc. kan snabbt ändra förutsättningarna för mätningen. Särskilt kritiska är perioder med stora temperaturväxlingar, då mättonens inträngning i barken påverkas.

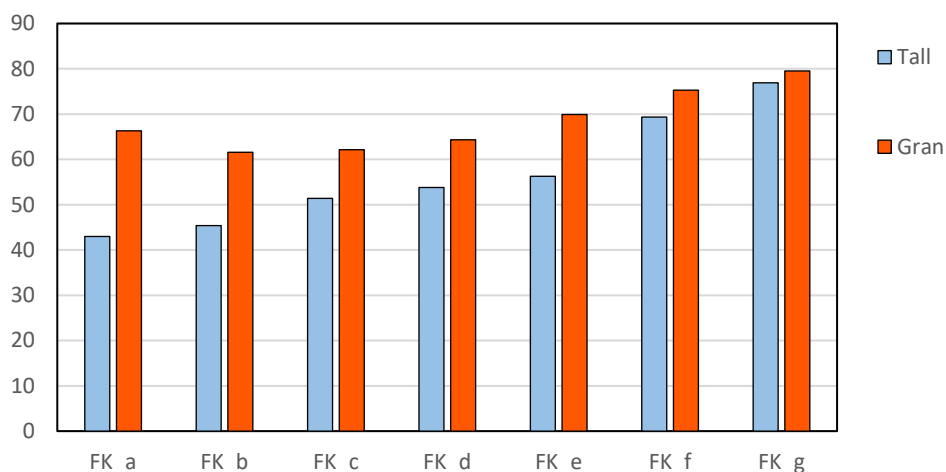
Djupare studier av de ovan listade faktorerna behövs dock för att kunna etablera generella samband mellan faktorerna och en skördares mätresultat.

ERFARENHETER FRÅN FÖRSTUDIE MED JOHN DEERE

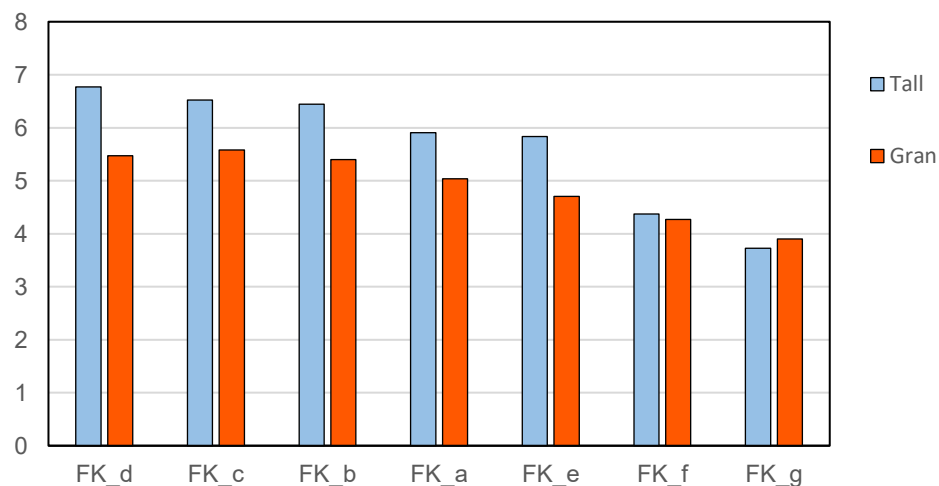
Under 2013/2014 genomfördes en förstudie i samarbete med John Deere med syftet att undersöka om det gick att identifiera faktorer som förklarade skillnaden i mätresultat mellan olika maskinlag. Förstudien baserades på data från sju maskinlag som alla körde slutavverknings-skördare från John Deere, utrustade med aggregatet H470C¹. Diametermätningen i detta aggregat görs med givare placerade i de övre kvistknivarna. Inom gruppen av maskiner fanns både skördare med mycket bra och mindre bra mätning representerade (figur 3). Produktionsförhållandena mätt som medelstam för de studerade skördarna bedömdes som likvärdiga. Valet att följa kvalitetssäkrade skördare gjordes då dessa maskinlag följer en etablerad rutin för egenkontroll, vilket borgar för datakvalitet samt att manuella kontrollmätningar (ktr-filer) fanns tillgängligt över långa tidsperioder, även från perioden innan studien inleddes. Alla studerade skördare hade även tillgång till TimberLink, John Deeres eget system för maskinuppföljning, vilket gav värdefull information om maskinerna i drift. Under den studerade perioden loggades även tryckinställningar och förändringar i dessa.

¹ Samtliga maskinlag var kvalitetssäkrade enligt instruktionen för kvalitetssäkring av skördarens mätning (SDC 2015-02-15)

Andel diametrar inom ± 4 mm (%)



Standardavvikelse M1-M2 (mm)



Figur 3.

Genomsnittligt mätresultat för de sju kvalitetssäkrade John Deere-skördare som studerades vid förstudien.

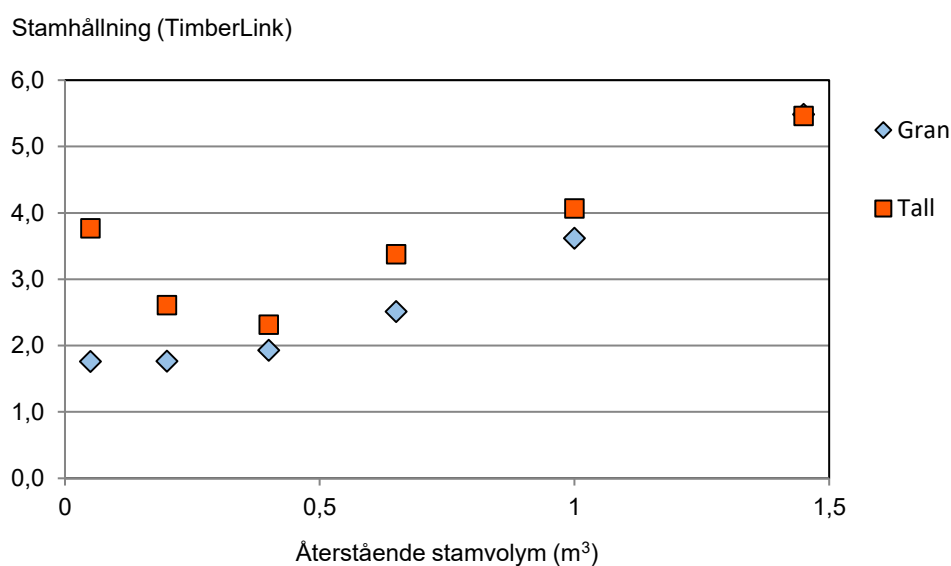
Mätresultatet illustreras här som genomsnittlig andel av skördarens diametermätningar inom ± 4 millimeter från manuell kontroll (ovan) och genomsnittlig standardavvikelse mellan skördare och manuell kontroll (nedan) under sex månader 2012/2013. Alla skördare gick i slutavverkning med aggregatet H470C.

Figure 3.

Average measurement results for the seven quality-assured John Deere harvesters monitored in the pilot study.

The results are presented as average proportions of harvester diameter measurements within ± 4 millimetres of manual control (above) and average standard deviation between harvester and manual control (below) during six months in 2012/2013. All harvesters were operating in final fellings, equipped with the H470C harvester head.

Som komplement till analyser baserade på manuella kontrollmätningar användes John Deeres eget stamhållningsmått i TimberLink som en indirekt skattning av skördarens mätnoggrannhet. Stamhållningsmättet baseras på en analys av de avverkade stammarnas registrerade stamprofil och inkluderar mått på förekomsten av både planområden och stamhack (plötsliga diameterfall). Ju mindre förekomst av planområden och stamhack, desto lägre värde på stamhållningsmättet. Figur 4 visar den genomsnittliga stamhållningen för de sju studerade John Deere-skördarna vid varierande återstående stamvolym. Att stamhållningen förbättras vid lägre återstående stamvolym är logiskt, då en mindre volym innebär en lättare stam för aggregatet att hålla upp. Att stamhållningen åter försämras för de minsta tallbitarna skulle kunna bero på en ökad andel kvistar i denna del av stammen.



Figur 4.
Genomsnittlig stamhållning för de sju studerade skördarna vid varierande återstående stamvolym under perioden oktober 2012-mars 2013.

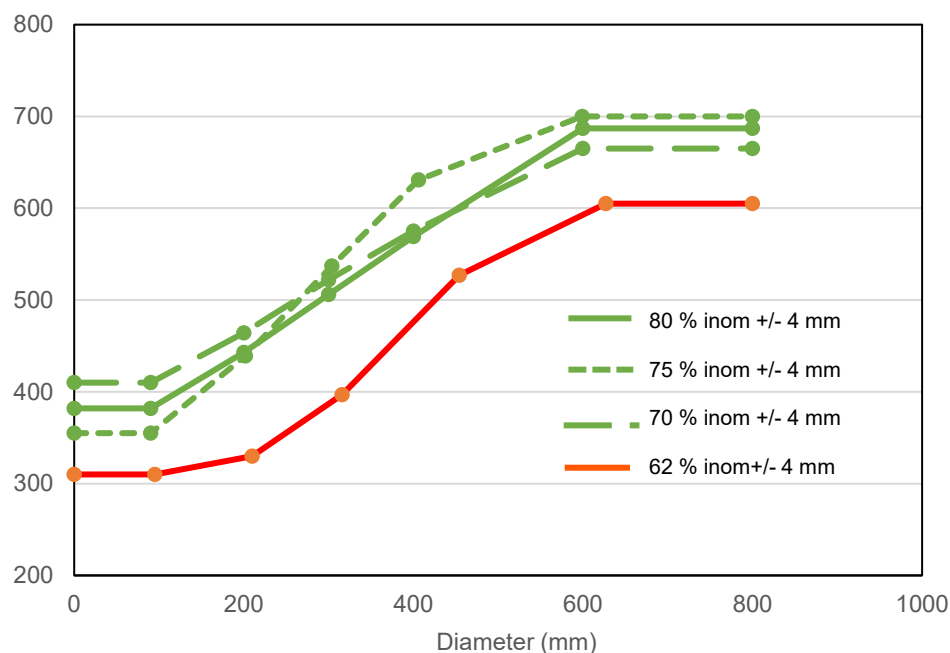
Figure 4.
Average stem grasp at varying levels of remaining stem volume for the seven JD harvesters, October 2012-March 2013.

Under förstudien studerades sambandet mellan tryckinställningar och skördarens mätresultat. De inställningar som bedömdes relevanta för diametermätningen hos John Deeres aggregat H470C var trycken på övre kvistknivar, nedre kvistknivar och matarvalsar samt den pulserande tryckförhöjning, s.k. högtryckpulsning, som kan läggas på de övre kvistknivarna för att förbättra stamhållningen. Genom att höja trycket i korta pulser undviks alltför hög friktion mot stammen, vilket riskerar påverka matningshastighet och bränsleförbrukning negativt.

Samtliga skördare med hög mätprecision hade höga tryck på de övre kvistknivarna medan trycket för en av skördarna med lägre mätprecision var väsentligt lägre, vilket indikerar ett logiskt samband mellan högre tryck på mätande organ och bättre mätprecision. Även stamhållningsmättet från TimberLink föreföll korrelera logiskt med mätresultatet, dvs. ju högre genomsnittlig mätprecision, desto bättre genomsnittlig stamhållning.

Under förstudien testades en metodik där tryckinställningarna hos de skördare som hade högst mätprecision, jämfördes med inställningarna hos de skördare som hade lägre mätprecision. Detta gjordes för att undersöka om skillnaden i mätprecision kunde förklaras av skillnader i tryckinställningar. För en av de ingående skördarna med lägre mätprecision var orsaken sannolikt lägre tryck på de övre kvistknivarna (figur 5).

Tryckinställning övre kvistknivar (mA)



Figur 5.

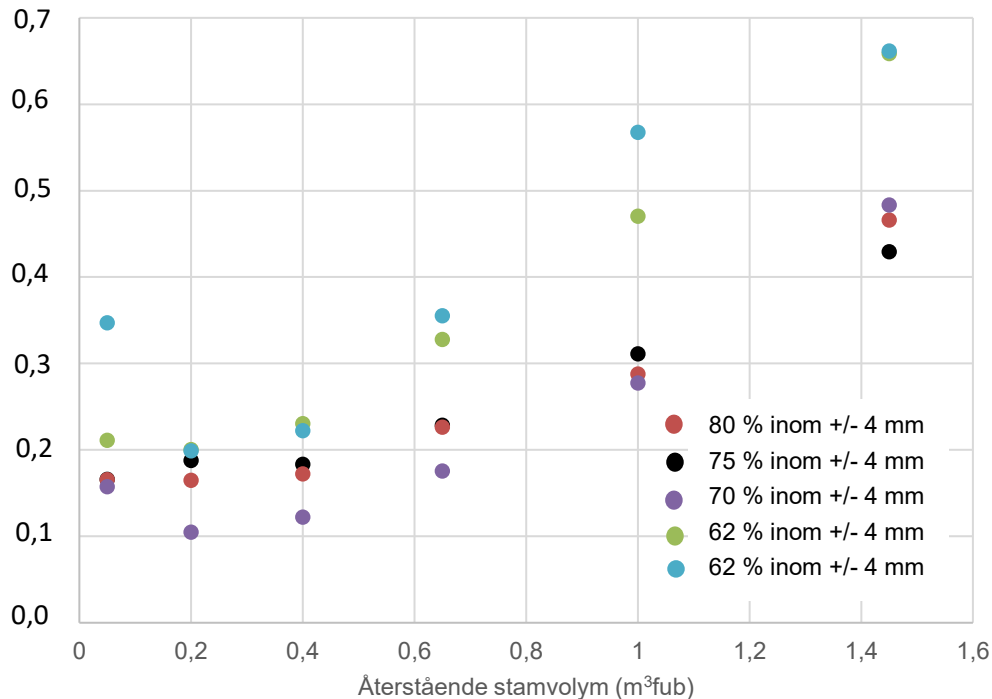
Tryckinställningar (främre kvistknivar, gran) för de tre skördarna med högst mätprecision samt en av skördarna med lägst mätprecision under sex månader 2012/2013 samt deras respektive genomsnittliga mätresultat för samma period, fastställt genom manuella kontrollmätningar.

Figure 5.

Pressure settings (front delimiting knives, spruce) for the three harvesters with highest measurement precision and for one of the harvesters with lowest measurement precision during six months in 2012/2013 and their corresponding average measurement precision, as determined from manual control measurements.

Motsvarande jämförelse mellan TimberLinks stamhållningsmått för de skördare med högst mätprecision och de med lägst indikerar ett logiskt samband där skördarna med högre mätprecision uppvisar bättre stamhållning. Skillnaden i stamhållning förstärks vid ökande stamvolym, vilket är logiskt då tyngre stammar är svårare för aggregatet att hålla upp (figur 6).

Stamhållning (TimberLink)



Figur 6.

Stamhållningsmättet från TimberLink och dess relation till ökande stamvolym. Resultaten indikerar ett logiskt samband mellan mätprecision och stamhållningsmättet, där ett lägre värde motsvarar en bättre stamhållning.

Figure 6.

The relationship between the TimberLink stem grasp measure and increasing stem volume. The results indicate a logical correlation between measurement precision and stem grasp, where a low value corresponds to better stem grasp.

Utifrån förstudien drogs följande slutsatser:

- Att över tid följa en grupp med kvalitetssäkrade skördare är ett fungerande och resurseffektivt sätt att studera skördares mätning över tid. Att ha tillgång till längre tidsserier med data är en fördel då så många faktorer påverkar mätningen och det därmed krävs en hel del data för att vara säker på att resultaten är stabila.
- Det är inte alltid möjligt att jämföra t ex maskininställningar direkt mellan skördarlag då så många faktorer påverkar mätresultatet. Det är därför mest intressant att studera effekter av förändringar gjorda inom enskild skördare.
- För skördare där de övre kvistknivarna är mätande organ för diametern förefaller tryckinställningarna för de övre kvistknivarna ha en tydlig effekt på skördarens diametermätning, vilket är i linje med de hypoteser som sattes upp innan studien. Även trycket på matarvalsar kan ha betydelse för skördarens mätning genom en direkt påverkan på aggregatets förmåga att hålla i stammen.
- Att aktivera funktionen för högtryckspulsning påverkar mätresultatet i positiv riktning.

Vidare arbete behövs för att ytterligare undersöka och befästa sambanden mellan tryckinställningar och skördarens mätresultat. Ytterligare studier behövs även för att undersöka om ett stamhållningsmått som det som finns i TimberLink kan användas som ett indirekt mått på hur bra skördaren mäter.

Med utgångspunkt i slutsatserna ovan formulerades projektet som beskrivs i denna rapport.

Syfte, projektmål och avgränsningar

Syftet med den genomförda studien var att studera hur faktorer som tryckinställningar och förarens körstil påverkar skördarens mätresultat samt om det går att förklara skillnader i mätresultat mellan och inom skördare utifrån information om aktuella och förändrade tryckinställningar.

Målen med projektet var:

- Att utveckla studiemetodik som gör det möjligt att följa skördare under längre tidsperioder genom en lösning där data ur skördarens styrsystem loggas kontinuerligt.
- Att följa en grupp skördare med likvärdiga tekniska och skogliga förutsättningar under en längre tidsperiod för vilken skördarens mätresultat analyseras, och om möjligt förklara skillnader i mätresultat mellan skördare.
- Att genomföra experiment för att studera sambanden mellan skördarens mätresultat och tryckinställningar respektive förarens körstil.
- Att undersöka om det av Ponsse framtagna nyckeltalet ”Andel kap i planområden” kan användas som ett indirekt mått på hur väl skördaren mäter stammens diameter.
- Att studera hur skördarens bränsleförbrukning och produktivitet påverkas när tryckinställningarna anpassas för att gynna skördarens diametermätning.

Analysen av skördarnas stamhållning *avgränsades* till att omfatta det i Ponsses EcoDrive implementerade nyckeltalet ”Andel kap i planområden”. Detta nyckeltal summeras över trädslag och stamstorleksklasser. Enskilda stamprofiler har således inte analyserats.

Material och metoder

I studien samlades data från åtta skördarlag som arbetade med slutavverkning i södra Sverige inom ett område som sträckte sig från södra Blekinge till norra Bergslagen (tabell 1). Sex av de åtta lagen använde en Ponsse Scorpion King som basmaskin medan två av lagen använde en Ponsse Ergo. Samtliga basmaskiner var utrustade med ett Ponsse H7 skördaraggregat. För hälften av lagen skedde diametermätningen med hjälp av information från givare placerade i skördaraggregatets matarvalsar medan diametermätningen för övriga lag skedde med hjälp av information från givare placerade i de främre rörliga kvistknivarna.

Tabell 1.

Basmaskin, skördaraggregat samt mätpunkt för diametermätningen för de åtta skördarlag som medverkade i studien.

Table 1.

Base machine, harvester head and measurement point for diameter sensing by the eight harvester teams that participated in the study.

Skördarlag	Basmaskin	Aggregat	Mätpunkt diametermätning ¹⁾
MV1	Scorpion King	H7	MV
MV2	Scorpion King	H7	MV
MV3	Scorpion King	H7	MV
MV4	Ergo	H7	MV
FK1	Scorpion King	H7	FK
FK2	Scorpion King	H7	FK
FK3	Scorpion King	H7	FK
FK4	Ergo	H7	FK

¹⁾ Givare för mätning av diameter var placerade i matarvalsar (MV), respektive främre rörliga kvistknivar (FK).

¹⁾ Sensors for measurement of diameter were placed in the feed rollers (MV) or in the front delimiting knives (FK).

ÖVERGRIPANDE STUDIEUPPLÄGG

Studien genomfördes i nära samverkan med Ponsse, VMF Syd samt förarna i de medverkande skördarlagen och bestod av två huvuddelar – 1) långtidsstudie av de åtta skördarna samt 2) riktade fältstudier.

Långtidsstudie

De studerade skördarna var alla kvalitetssäkrade, vilket innebar att förarna kontrollerade och rapporterade skördarens mätning regelbundet enligt etablerad rutin via SDC. Alla skördare hade även anpassats av Ponsse för att kontinuerligt logga information ur skördarens styrsystem, vilket möjliggjorde datainsamling under längre tidsperioder.

De i studien ingående skördarna studerades under två separata tidsperioder:

- Referensperiod 1: 150801–151031.
- Referensperiod 2: 160314–160515.

Som referensperioder valdes tidsperioder då det bedömdes råda stabila förutsättningar för skördarens diametermätning. Temperaturen låg under perioderna över noll grader och ingen betydande savning förelåg. Samtliga förändringar som gjordes av skördarnas maskininställningar (framför allt tryckinställningar) mellan referensperioderna loggades. Skördarnas prestation jämfördes sedan mellan de två perioderna för att studera eventuella effekter på mätresultatet.

För skördarlaget FK2 användes även en tredje referensperiod (160520–160616) då större förändringar av tryckinställningarna gjordes inför denna period.

Riktade fältstudier

De riktade fältstudierna genomfördes för att undersöka de grundläggande sambanden mellan skördarens mätresultat och aggregatets tryckinställningar respektive förarens körstil. Dessa studier genomfördes 7–8 december 2015 i trakterna av Surahammar i Bergslagen och beskrivs i mer detalj i avsnitten ”Fältstudie 1” och ”Fältstudie 2”.

DATAINSAMLING

Långtidsstudie

I studien samlades följande data från samtliga skördare:

1. *Ktr-filer.* Dessa filer innehåller standardiserad information kopplad till kvalitetssäkringssystemet för skördarnas dimensionsmätning (Arlinger & Möller, 2006; Arlinger m. fl., 2012). I studien utnyttjades diametermått från skördarnas diametermätning samt motsvarande data från den manuella kontrollmätningen av diameter. Den senare utförs varje meter längs stammarna samt i samtliga stockars toppändor. I vår studie användes enbart data för slumpade kontrollstammar och där de manuella referensmätningarna utförts av skördarförarna. Undantaget utgjordes av de riktade delstudierna där utvalda stammar användes och de manuella kontrollmätningarna gjordes av en skördarrevisor.

2. *Log-filer med information om maskininställningar.*

Standardiserad information som beskriver skördarnas maskininställningar finns i nuläget inte att tillgå inom ramen för standarden för kommunikation med skogsmaskiner (StanForD). För att tillgängliggöra information om skördarnas maskininställningar utvecklade Ponsse inför studien programvara som registrerar information om maskininställningar i en log-fil. Log-filerna innehöll två nivåer med information: värden för maskininställningarna vid start av loggningen samt nya värden + tidsangivelse då förändringar gjordes. Log-filerna innehöll information för ett stort antal maskininställningar men de parametrar som huvudsakligen utnyttjades i studien var relaterade till trycken för matarvalsar samt främre och bakre kvistknivar.

3. *Log-filer med utvald information från skördarnas styrsystem.* I

(tabell 2) listas den information som hämtades från skördarnas styrsystem och registrerades i en annan typ av log-fil. Informationen registrerades per stamstorleksklass och arbetsskift med tidsangivelser för skiftets start- och stopptid. Följande stamstorleksklasser (i dm³) användes: 0–50, 50–100, 100–200, 200–300, 300–400, 400–500, 500–800, 800–1 200 och 1 200+. I logfilerna aggregerades informationen för tall och gran, det vill säga det var inte möjligt att särredovisa data för trädslagen.

Tabell 2.
Information från skördarnas styrsystem som registrerades i log-filer.

Table 2.
Information from the harvesters' control systems registered in log files.

Registrerad information	Enhet
Antal avverkade stammar	Styck
Total bränsleförbrukning	dm ³
Bränsleförbrukning per G ₁₅ -tid	dm ³
Total avverkad volym	m ³ fub
Total motortid	Sekunder
Grundtid (G ₀ -tid)	Sekunder
Grundtid (G ₁₅ -tid)	Sekunder
Total kapad area	m ²
Total tid för kapning	Sekunder
Total utmatad längd	Meter
Total tid för matning	Sekunder
Antal kap i stampartier med planområde/stamhack ¹⁾	Styck
Totalt antal kap	Styck

¹⁾ Se text för en definition av stamhack och planområde.

¹⁾ See text for a definition of flat areas and stem hack.

Den utvalda informationen från skördarnas styrsystem registrerades med hjälp av Ponsse's programvara "EcoDrive". Anpassning av denna programvara gjordes inför studien av Ponsse för att möjliggöra registrering av antal kap i stampartier med planområde/stamhack, vilket i vår studie användes som underlag för att beräkna ett mått på skördarnas stamhållning. Vid beräkningarna av planområde och stamhack användes diametervärden som utnyttjas i skördarnas styrsystem vilka finns tillgängliga för varje 5 centimeter längs stammarna.

Planområde och stamhack definierades enligt följande:

- Planområde = Stamparti länge än 100 centimeter där diametern inte minskar mot toppen av trädet.
- Stamhack = Stamparti där minskningen av diametern mot toppen av trädet är större än 12 millimeter per 40 centimeters stamlängd.

Vid beräkningarna av antalet kap i stampartier med planområde/stamhack inkluderades följande typer av kap:

- Apteringskap i stamparti med planområde samt apteringskap i stamparti där avståndet till ett planområde var mindre än 10 centimeter.
- Apteringskap i stamparti med stamhack.

I beräkningarna beaktades enbart stockar med längd över tre meter, kortare stockar betraktades som oklassificerade och filterades bort. Vidare beaktades enbart apteringskap med en diameter på minst 130 millimeter. Data för stockar med lägre diameter filterades bort, vilket innebar att det framräknade måttet på stamhållning huvudsakligen relaterar till sågtimmer och i lägre utsträckning till den avverkade massaveden. Filtrering av stockar utifrån diameter gjordes enbart vid beräkningen av antalet kap i planområde/stamhack. För övriga variabler (tabell 2) skedde registreringen över hela den upparbetade stamlängden.

3. Övrig produktionsinformation. Samtliga skördarlag som medverkade i studien rapporterar sin produktion genom att skicka in skördarnas produktionsfiler till skogsbrukets datacentral (SDC). Via SDC erhöles aggregerad information för skördarnas totala produktion ($m^3\text{fub}$) och medelstam ($m^3\text{fub}/\text{stam}$) nedbrutet per trädslag.

Fältstudie 1: Sambandet mellan tryckförändringar och mätprecision

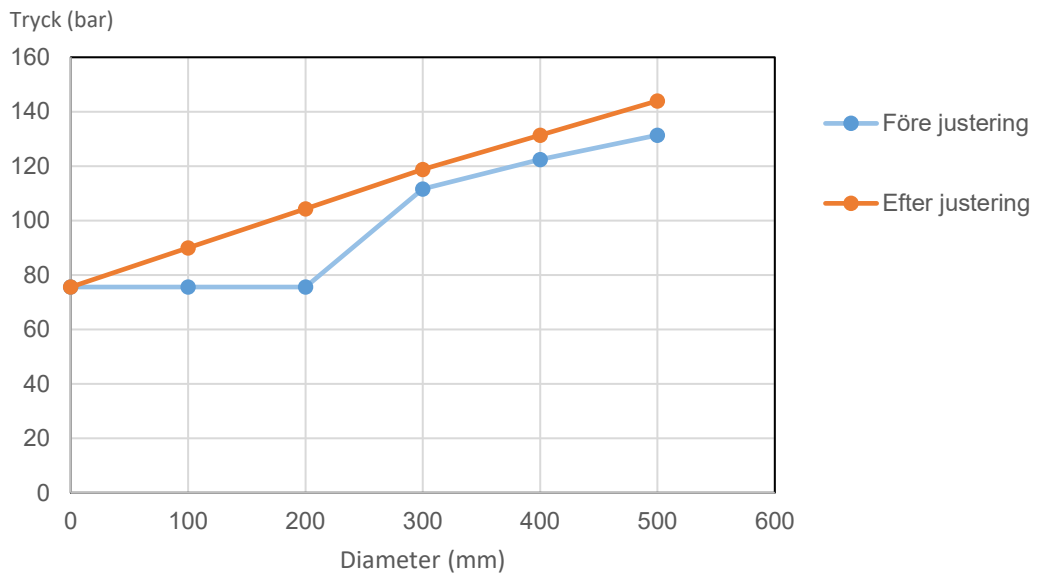
För att under kontrollerade förhållanden studera hur förändringar av tryckinställningarna för kvistknivar och matarvalsar påverkar skördarens precision vid diametermätning gjordes i ett begränsat experiment stegvisa förändringar av trycken hos en skördare i tre försöksled. Under varje försöksled upparbeta-des ett antal stammar, vilka sedan kontrollmättes manuellt. Den studerade skördaren mätte diameter med givare i matarvalsarna och de tre försöksleden finns nedan. Försöksleden omfattade studier av hur skördarens diametermätning påverkades av:

1. Aktivering av funktionen för pulsering av trycket på de övre kvistknivarna (minskar friktionen).
2. En markant höjning av trycket på matarvalsarna (figur 7).
3. En höjning av trycket på de nedre kvistknivarna i kombination med en sänkning av trycket på de övre kvistknivarna i den klenaste diameterklassen för att underlätta matning genom aggregatet (figur 8).

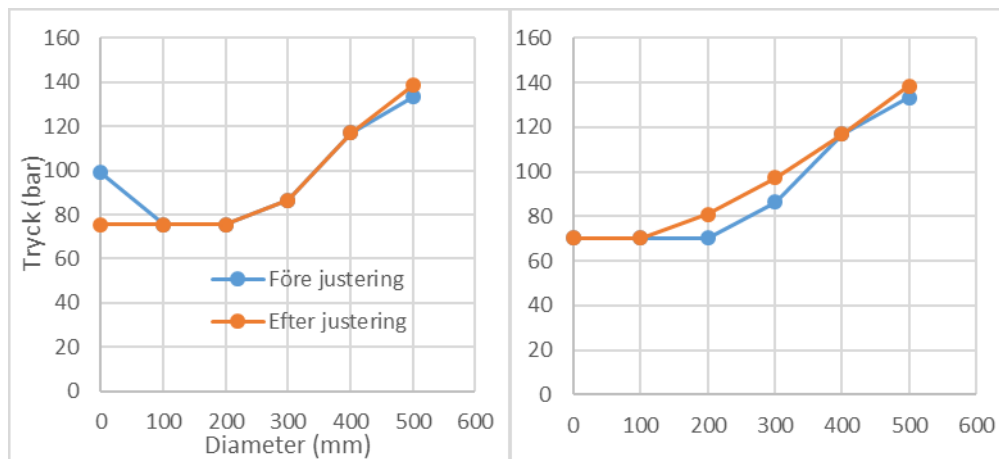
Tryckförändringarnas storlek och typ bestämdes utifrån Ponsse's kunskaper om hur andra, vältrimmade, skördare var inställda (U. Folkesson, pers. medd.). Samma förare genomförde hela försöket.

Skördarens mätprecision vid försökets början bestämdes genom att 15 granstammar kontrollmättes manuellt. Efter varje försöksled kontrollmättes sedan ytterligare 10 granstammar för att bestämma den resulterande mätprecisionen. Kontrollmätningarna lagrades i ktr-filer som samlades in och analyserades.

Alla manuella kontrollmätningar utfördes av en skördarrevisor från VMF. Försöket genomfördes i ett grandominerat bestånd.



Figur 7.
Tryckinställningar för matarvalsar under upparbetning av gran före och efter försöksled 2.
Figure 7.
Feed roller pressure settings for spruce before and after adjustments made in part 2 of the trial.



Figur 8.
Tryckinställningar för de främre (till vänster) respektive bakre (till höger) kvistknivarna under upparbetning av gran före och efter försöksled 3.
Figure 8.
Front knives (left) and rear knives (right) pressure settings for spruce before and after adjustments made in part 3 of the trial.

Fältstudie 2: Sambandet mellan förarens körteknik och mätprecision

I en ansats att försöka kvantifiera effekten av skördarförarens körteknik genomfördes en fältstudie med två försöksled (tabell 3) där föraren instruerades att använda sig av en så mjuk och följsam körteknik som möjligt där kranen används aktivt för att underlätta vid upparbetning (Försöksled A) respektive en körteknik där maximal matning av stammen genom aggregatet prioriterades (Försöksled B).

Fältstudien genomfördes i ett talldominerat bestånd där de kontrollmätta stammarna hade en genomsnittlig DBH på 29,6 centimeter. En instruktör från Ponsse fanns med i hytten under försöket för att säkerställa att rätt körteknik användes. I varje försöksled upparbetades och kontrollmättes 15 stammar. Samma förare körde skördaren under hela försöket och kontrollmätningarna utfördes av en skördarrevisor från VMF.

Tabell 3.
Kortfattad beskrivning av instruktionen till föraren i de båda försöksleden.

Table 3.
Brief description of instructions given to operators in the two trials.

Försöksled	Körteknik
A	Mjuk, följsam med kranen
B	"Forcerad", prioritering av matning

BERÄKNADE VARIABLER

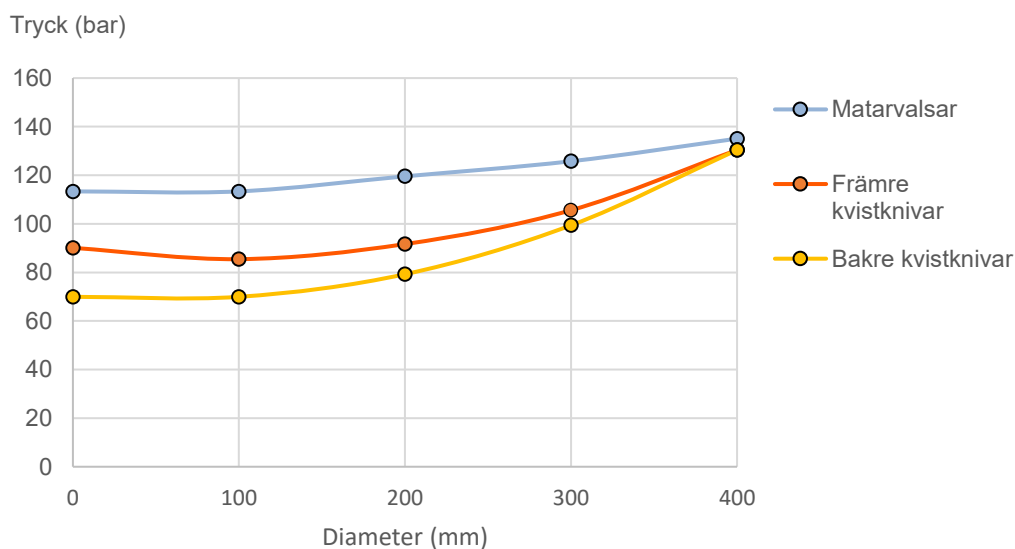
Utifrån data i ktr-filer beräknades följande variabler för att beskriva hur väl skördarens diametermätning överensstämde med den manuellt kontrollmätta diametern:

- Andel av skördarens mätningar som faller inom ± 4 millimeter från den manuella kontrollmätningen (procent).
- Standardavvikelse för fördelningen av avvikelser mellan skördarens mätning och den manuella kontrollmätningen (millimeter).
- Systematisk (genomsnittlig) avvikelse mellan skördarens mätning och den manuella kontrollmätningen (millimeter).

Utifrån informationen från skördarnas styrsystem beräknades genomsnittliga värden för bränsleförbrukning per G_{15} -tid och avverkad volym (l/m^3 fub), kaphastighet (cm^2/s), matningshastighet (m/s) samt andelen kap i planområde/stamhack (procent). Den senare variabeln beräknades som kvoten mellan antalet kap i stampartier med planområde/stamhack och det totala antalet kap. Den genomsnittliga matningshastigheten beräknades som kvoten mellan total utmatad längd och total tid för matning (Tabell 2). Total utmatad längd inkluderade utmatad längd vid matning framåt och matning bakåt (backning). Total tid för matning beräknades genom att summera tiderna från matningen startade efter kap till matningen stannade inför nästa kap, det vill säga tiden för kapning var inte inkluderad.

För ovanstående variabler beräknades genomsnittliga värden för studieperioderna nedbrutet per stamstorleksklass. Eftersom antalet avverkade stammar kunde variera kraftigt mellan de olika arbetsskiften användes medelvärden som viktats mot antalet avverkade stammar per arbetsskift. Detta innebär att värdena från arbetsskift med stort antal stammar får större genomslag i medelvärdesberäkningen än värdena för arbetsskift med få stammar.

De tryckinställningar som användes för matarvalsar samt främre och bakre kvistknivar återgavs i log-filen i form av tryckkurvor som beskriver hur hydrauloljetrycket ska variera med den aktuella stamdiametern (se exempel i figur 9). Med hjälp av programvara utvecklad vid Skogforsk beräknades genomsnittliga, trädslagsvisa tryck för referensperioderna för diametrarna 0, 100, 200, 300 samt 400 millimeter. Anledningen till att beräkningar gjordes för dessa diametrar är att den absoluta huvuddelen av de avverkade stockarna från skördarlagen återfanns inom diameterintervallet 0–400 millimeter. För skördarlag som ändrat tryckinställningarna under referensperioderna viktades de genomsnittliga trycken med antalet dagar som de olika tryckinställningarna använts under respektive referensperiod. En fullständig redovisning av samtliga skördarlags genomsnittliga tryck inom intervallet 0–400 millimeter under referensperioderna återfinns i (Bilaga 1).



Figur 9.
Exempel på diameterberoende tryckkurvor för matarvalsar, främre och bakre kvistknivar för en skördare.

Figure 9.
Example of diameter-dependant pressure curves for feed rollers and front and rear delimiting knives for one of the studied harvesters.

För att i ett mått aggregera information om de förändringar av trycken som skedde mellan referensperioderna beräknades i ett första steg referensperiodernas genomsnittliga tryck över tall och gran inom diameterintervallet 0–400 millimeter för det mätande organet (matarvalsar eller främre kvistknivar). Därefter beräknades förändringarna som skedde av de genomsnittliga trycken för de mätande organen från referensperiod 1 till referensperiod 2 (tabell 4). För samtliga skördarlag jämfördes trycken mellan de två referensperioderna 150801–151031 och 160314–160513. För skördarlaget FK2 skedde också en jämförelse mellan referensperioden 150801–151031 och perioden 160520–160616. Detta eftersom en större förändring av tryckinställningarna skedde för detta skördarlag 160519.

En särskild analys gjordes av tryckinställningarna för gran i diameterklasserna 100–200 millimeter och 200–300 millimeter. Tryckinställningarna för respektive skördarlags mätande organ i dessa diameterklasser beräknades genom att interpolera trycken för 100 och 200 millimeter, respektive 200 och 300 millimeter. Beräkningar gjordes inledningsvis för referensperioderna och därefter beräknades den förändring av trycken som skett för skördarlagen mellan referensperioderna (tabell 4).

Tabell 4.

Procentuell förändring av skördarlagens summerade tryck för tall och gran inom diameterintervallet 0–400 millimeter och för gran inom diameterintervallen 100–200 millimeter, respektive 200–300 millimeter för mätande organ mellan referensperiod 1 och 2. För skördarlaget FK2_1–3 anges tryckförändringarna mellan referensperiod 1 och 3. Positiva värden indikerar att trycket varit högre under den senare perioden.

Table 4.

Percentage change in the harvester teams totalled pressure for pine and spruce within the diameter interval 0–400 millimetres, and percentage change of the pressure of the measuring tool for spruce within the diameter classes 100–200 millimetres and 200–300 millimetres between the two reference periods 1 and 2. For the FK2_1–3 data point, the pressure change is given between the reference period 1 and 3. Positive values indicate that the pressure increased from the first to the second period.

Skördarlag	Mätande organ ¹⁾	Tryckförändring mellan referens-perioderna (%)		
		Tall + gran 0–400 mm	Gran 100–200 mm	Gran 200–300 mm
MV1	MV	0	0	0
MV2	MV	8,0	13,0	9,8
MV3	MV	3,6	0	0
MV4	MV	21,3	31,7	12,8
FK1	FK	3,2	9,4	6,4
FK2_1–2	FK	0,2	-0,1	-2,4
FK2_1–3	FK	23,7	35,0	49,3
FK3	FK	0,0	0	0
FK4	FK	8,9	19,7	25,6

¹⁾ MV=matarvalsar, FK=främre kvistknivar.

²⁾ MV=feed rollers, FK=front delimiting knives

Det bör observeras att de förändringar av tryckkurvorna som gjordes mellan referensperioderna inte var avgränsade till förändringar av trycken för det mätande organet. I verkligheten gjordes förändringar i varierande grad för matarvalsar, främre och bakre kvistknivar och för olika diameterklasser, vilket redovisas i detalj i (Bilaga 1).

ANALYSER

Beräkningen av variabler från ktr-data (se *Beräknade variabler* ovan) gjordes med hjälp av analysverktyget KtrAnalys, utvecklat av Skogforsk. KtrAnalys läser in ktr-filer och beräknar månadsvisa (alternativt veckovisa) medelvärden. Genomsnittliga värden för de två analysperioderna beräknades genom att de månadsvisa värdena vägdes ihop utifrån antalet observationer för respektive månad.

Flera av de variabler som registrerades i skördarnas styrsystem var starkt beroende av stamstorleksklassen t.ex. matningshastigheten, bränsleförbrukningen och andelen kap i planområde. Detta innebär att skördarlagens aritmetiska medelvärden för dessa parametrar kommer att vara påverkade av respektive skördarlags fördelning av stamstorleksklasser för de avverkade stammarna. För att generera medelvärden per skördarlag som var kompenserade för skillnader mellan skördarlagen i deras fördelning av stamstorleksklasser för de avverkade stammarna gjordes en variansanalys med hjälp av statistikprogrammet SAS.

Stamstorleksklass användes då som kovariat i analysen det vill säga för att kompensera för skillnader i fördelning av stamstorleksklass mellan skördarlagen.

Följande modell anpassades:

$$y = s + sl + e$$

där

y är den analyserade parametern (andel kap i planområde, matningshastighet etc.), s är stamstorleksklass, sl är skördarlag och e är det slumpmässiga felet.

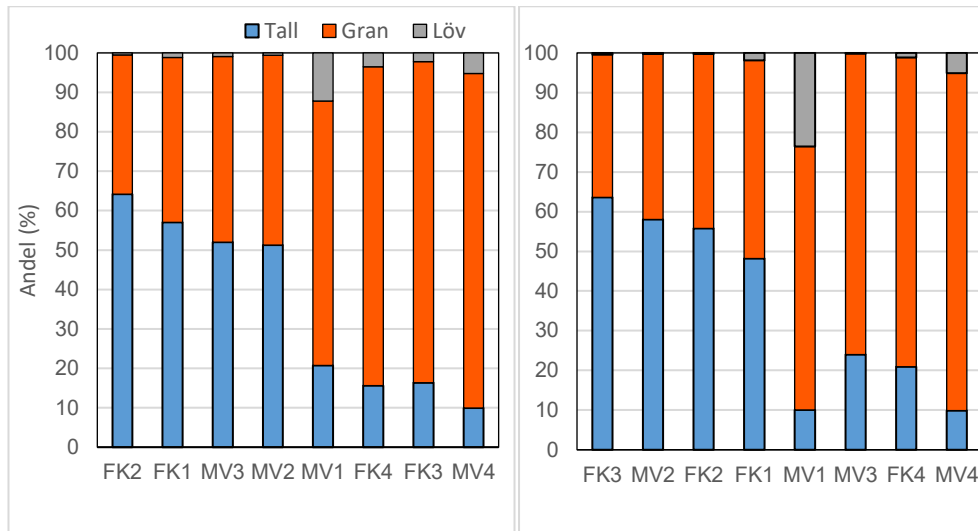
I analysen beräknades minsta kvadratmedelvärden för skördarlagen det vill säga skördarlagens genomsnittliga värde för den analyserade parametern efter kompensering för skillnader mellan skördarlagen i fördelning av stamstorleksklasser. Variansanalysen gjordes med hjälp av statistikprogrammet SAS.

Resultat och Diskussion

PRODUKTIONSFÖRUTSÄTTNINGAR UNDER REFERENSPERIODERNA

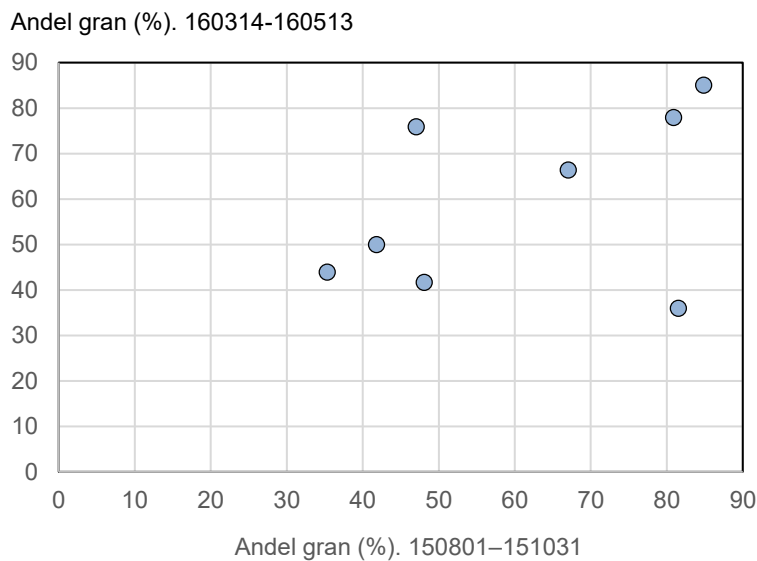
Gran och tall utgjorde de helt dominerande trädslagen för sju av de åtta studerade skördarlagen under de två referensperioderna (figur 10). Undantaget utgjordes av skördarlaget MV1 som uppvisade högre lövandel, vilken uppgick till 24 procent under den andra referensperioden. Under båda referensperioderna var andelarna tall och gran relativt likartade för fyra av skördarlagen medan gran utgjorde det dominerande trädslaget för återstående fyra skördarlag.

Trädslagsfördelningen för de enskilda skördarlagen var relativt stabil mellan de två referensperioderna (figur 11). Undantaget utgjordes av skördarlagen MV3 och FK3 där en kraftig ökning, respektive minskning, skedde för granandelen mellan referensperiod ett och två (figur 10).



Figur 10. Trädslagsfördelning, uttryckt som procentuell andel av totalt avverkad volym, för skördarlagen under referensperioden 1 (vänster figur) respektive referensperiod 2 (höger figur).

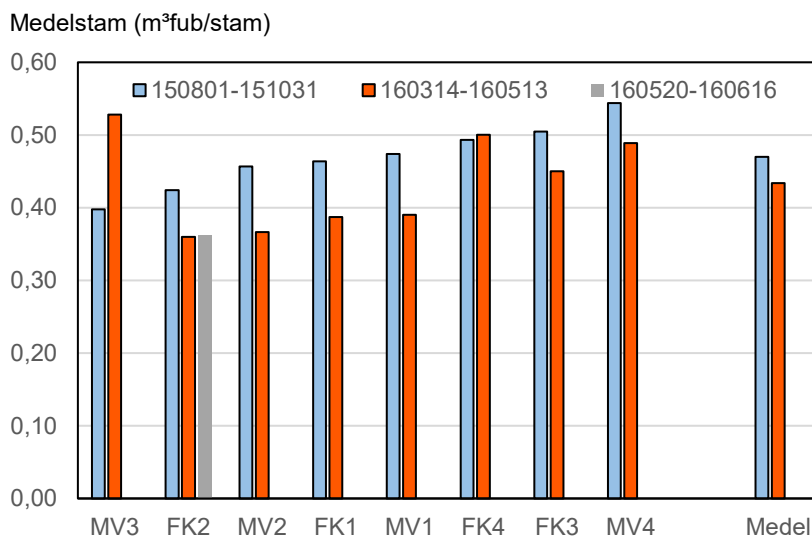
Figure 10. Species composition, expressed as percentage of the total harvested volume, for the harvester teams during reference period 1, (left) and reference period 2 respectively.



Figur 11. Sambandet mellan andel gran för skördarlagen under de två referensperioderna. Andelen gran var uttryckt som trädslagets procentuella andel av total avverkad volym.

Figure 11. Relationship between proportion of harvested spruce for the harvester teams during the two reference periods. The proportion of spruce is expressed as percentage of the total harvested volume.

För storleken på medelstammen var det små skillnader mellan skördarlagen under den första referensperioden med sju av de åtta lagen inom intervallet 0,40 till 0,50 m³fub/stam (figur 12). Under den andra referensperioden ökade skillnaderna mellan skördarlagen. För sex av de åtta skördarlagen minskade medelstammen under den andra referensperioden, vilket totalt resulterade i en minskning av den genomsnittliga medelstammen från 0,47 till 0,43 m³fub/stam.

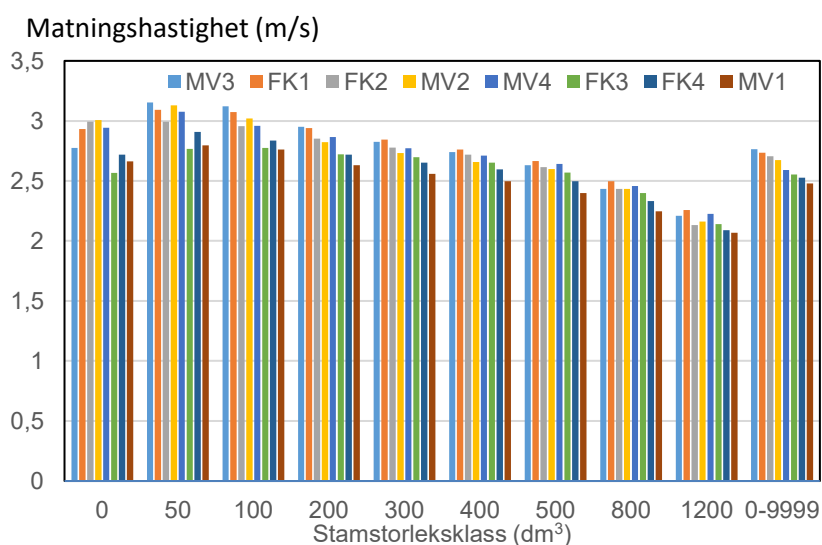


Figur 12.
Medelstam per skördarlag för de två referensperioderna.

Figure 12.
Average stem size per harvester team during the two reference periods.

Matningshastighet

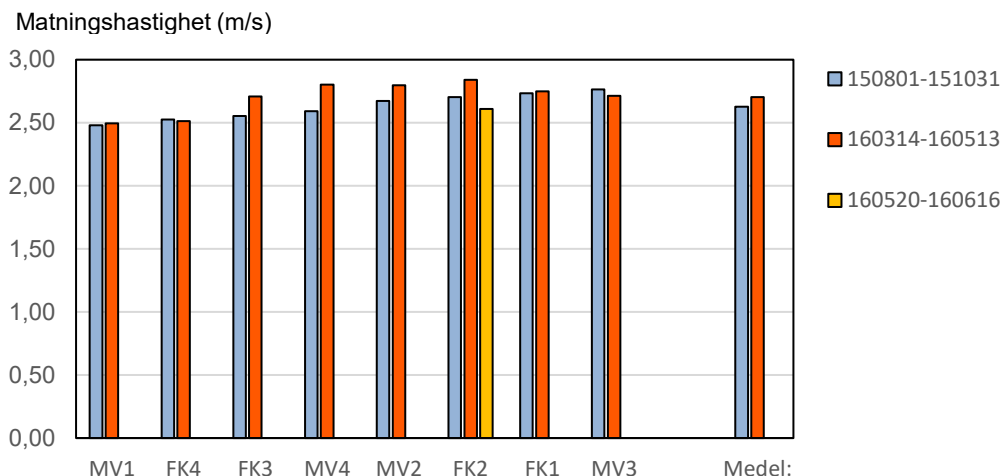
Den genomsnittliga matningshastigheten visade en logisk, generell minskning med ökande stamstorlek för skördarlagen (illustrerat för referensperiod 1 i (figur 13).



Figur 13.
Genomsnittlig matningshastighet per stamstorleksklass för de åtta skördarlagen under referensperiod 1.

Figure 13.
Average feeding speed per stem size class for the eight harvester teams during reference period 1.

För de enskilda skördarlagen var den genomsnittliga matningshastigheten över samtliga stamstorleksklasser stabil eller svagt ökande från referensperiod 1 till period 2. I genomsnitt skedde en svag ökning på 2,7 procentenheter mellan de två perioderna (figur 14). För skördarlaget FK2, för vilka data registrerades för en tredje referensperiod, noterades en minskning av matningshastigheten mellan period 1 och 3.

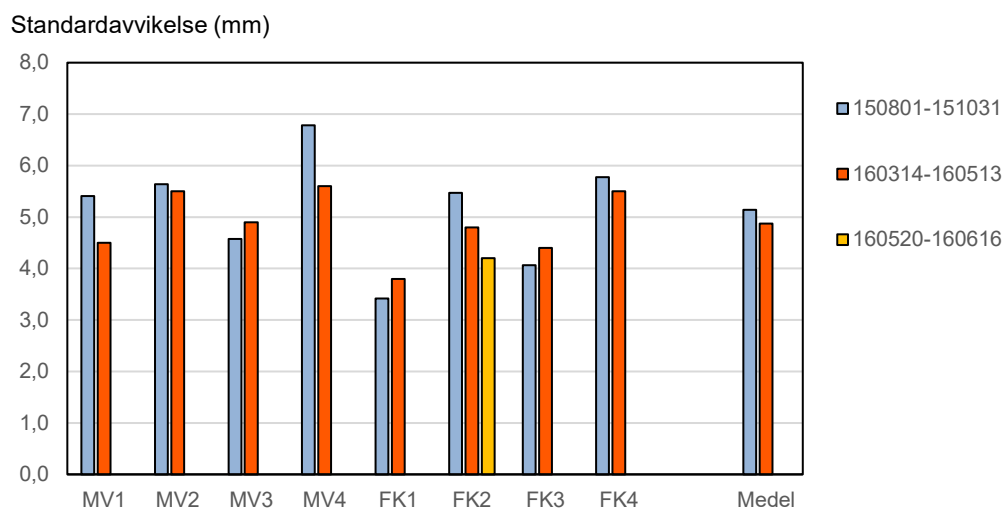


Figur 14. Genomsnittlig matningshastighet över stamstorleksklass för skördarlagen för referensperioderna.

Figure 14. Average feeding speed across stem size class for the harvester teams during the reference periods.

MÄTPRECISION FÖR SKÖRDARNAS DIAMETERMÄTNING

I figur 15 redovisas skördarlagens genomsnittliga mätprecision för diametermätningen för referensperioderna där mätprecisionen är uttryckt som standardavvikelsen för avvikelsen mellan skördarmätt diameter och diameter från manuell referensmätning. I genomsnitt för samtliga skördarlag minskade standardavvikelsen med 0,2 millimeter från referensperioden 150801–151031 till perioden 160314–160513. För flertalet skördarlag var det mindre förändringar för mätprecisionen mellan referensperioderna. Större förändringar mellan referensperiod 1 och 2 (>15 procent) noterades för skördarlagen MV1 och MV4. För ett av skördarlagen, FK2, registrerades data för en tredje referensperiod (160520–160616) och i jämförelse med den första referensperioden för detta skördarlag noterades den största förändringen av standardavvikelsen (–23 procent).



Figur 15.

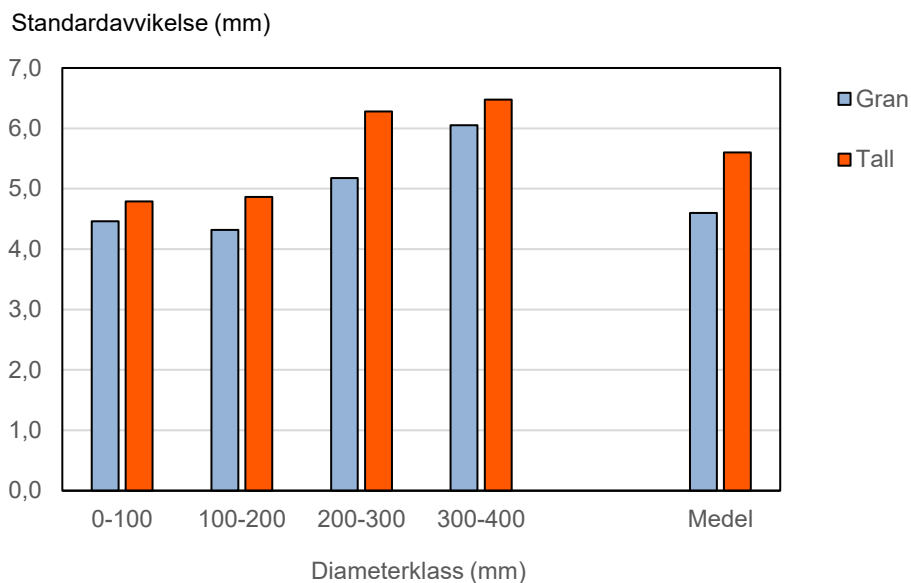
Mätprecisionen för skördarnas diametermätning för referensperioderna uttryckt som standardavvikelsen för avvikelserna mellan diameter från manuell referensmätning och skördarmätt diameter.

Figure 15.

Precision of the harvesters' diameter sensing during the reference periods expressed as the standard deviation between diameter from the manual control measurement and diameter measured by the harvester.

I jämförelse mellan trädslagen var standardavvikelsen för skördarnas diametermätning i genomsnitt över referensperiod 1 och 2 en millimeter högre för tall än för gran (figur 16). Förhållandet att tall hade högre standardavvikelse än gran förekom för båda referensperioderna men skillnaden mellan trädslagen var något mindre under den andra referensperioden. För båda trädslagen ökade standardavvikelsen för skördarnas diametermätning generellt med ökande diameter (figur 16). Denna trend förekom för båda referensperioderna.

De generella trenderna i vår studie att tall hade högre standardavvikelse än gran och att standardavvikelsen ökade med ökande diameter är i överensstämmelse med tidigare studier av skördarnas mätprecision (se sammanställning i Möller m.fl., 2002). Baserat på detaljerade mätningar i dessa studier förs ovalitet respektive barkavskav fram som förklarande faktorer till de skillnader som noterats i mätprecision mellan trädslag och diameterklasser.



Figur 16.
Standardavvikelse för skördarnas diametermätning uppdelat på trädslag och diameterklass för referensperiod 1 och 2.

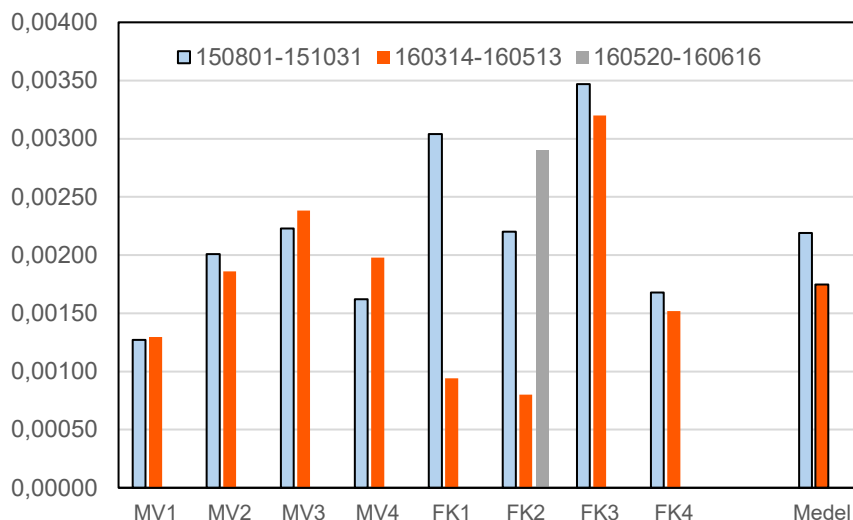
Figure 16.
Standard deviation for the harvesters' diameter sensing by species and diameter class for reference periods 1 and 2.

De manuella kontrollmätningarna utfördes på ett sampel av utslumpade stammar och mätningarna på detta sampel användes som grund för att beskriva mätprecisionen i diametermätningen för skördarnas totala produktion. Sampelfrekvensen för kontrollstammarna som mättes manuellt var i genomsnitt 0,0022 respektive 0,0018 för de två referensperioderna (figur 17). Detta innebär att en stam kontrollmättes per 457, respektive 572 stammar som avverkats. För flertalet skördarlag var det små skillnader i sampelfrekvens mellan referensperioderna. För två skördarlag, FK1 och FK2, var dock sampelfrekvensen under den andra referensperioden markant lägre. Detta innebär att kvantifieringen av mätprecisionen för dessa två skördarlag under den andra referensperioden var förknippade med en högre grad av osäkerhet.

För skördarlaget FK2 understeg det totala antalet mätta kontrollstammar under den andra referensperioden en "kritisk nivå" om 20 mätta stammar, vilket även var fallet för skördarlaget MV1 under samma period.

En fullständig redovisning av nyckeltal kopplade till den manuella referensmätningen av diameter för skördarlagen under de tre referensperioderna återfinns i Bilaga 2.

Sampelfrekvens kontrollstammar



Figur 17.

Skördarlagens sampelfrekvens av kontrollstammar för manuell referensmätning av diameter för referensperioderna. Sampelfrekvensen är uttryckt som kvoten mellan antalet kontrollstammar och totalt antal avverkade gran och tallstammar.

Figure 17.

Harvester teams' sample frequency of stems for manual control measurements of diameter during the reference periods. Sample frequency is expressed as the ratio between the number of reference stems and the total number of felled spruce and pine stems.

SAMBAND MELLAN MÄTPRECISION OCH TRYCKINSTÄLLNINGAR

Fältförsök 1

I försöksled 1 uppkom ingen förändring av standardavvikelsen (tabell 5), vilket indikerar att tryckpulseringen i det här fallet inte hade någon inverkan på mätprecisionen.

Den största positiva effekten på skördarens diametermätning uppkom i försöksled 2, där den totala standardavvikelsen sänktes med 17 procent (tabell 6) som respons på en markant höjning av trycket för matarvalsarna, i vilka diametergivarna var placerade. Då antalet observationer är begränsat i den klenaste och grövsta diameterklassen bör i första hand förändringar på diameterklassnivå studeras för klasserna 100–200 millimeter samt 200–300 millimeter. För dessa båda klasser resulterade en tryckhöjning för matarvalsarna om 13 respektive 10 procent i en sänkning av standardavvikelsen med 16 respektive 14 procent.

I försöksled 3 ökade standardavvikelsen med 10 procent som respons på mindre tryckförändringar för kvistknivarna. Vi kan inte belägga orsaken till detta resultat.

Tabell 5.
Skördarens mätprecision i varje försöksled uttryckt som standardavvikelsen i den manuella kontrollmätningen.

Table 5.
Measurement precision of the harvester in each trial, expressed as standard deviation from manual control measurements.

Försöksled	Standardavvikelse per diameterklass (mm)					Antal kontrollmätta stammar
	0-	100-	200-	300-	Totalt	
Innan ändringar	5,38	4,38	4,57	5,11	4,83	15
Pulsering	4,43	3,96	4,77	6,41	4,84	10
Höjt tryck mv	5,04	3,32	4,11	2,50	4,01	10
Sänkt tryck kk	4,31	3,77	4,70	3,50	4,42	10

Tabell 6.
Tryckinställningar per diameterklass för matarvalsarna vid upparbetning av gran före och efter Försöksled 2.

Table 6.
Pressure settings of the feed rollers per diameter class, before and after trial number 2.

Försöksled 2	Tryckinställningar, matarvalsar gran (bar)			
	0-	100-	200-	300-
Före	110,4	110,4	122,4	138,0
Efter	115,2	124,8	134,4	143,4
Förändring, %	+ 4,3	+ 13,0	+ 9,8	+ 3,9

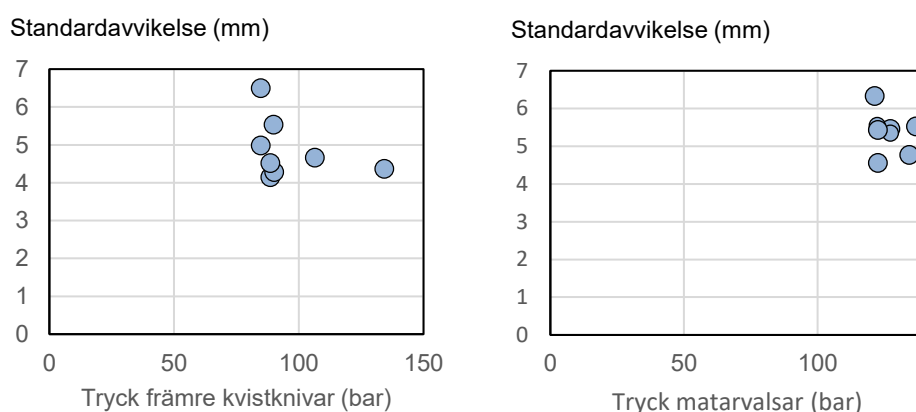
Långtidsstudie

För att studera sambandet mellan mätprecision och tryckinställningar under långtidsstudien utnyttjades data för gran och diameterklassen 200–300 millimeter. Detta medgav att en direkt jämförelse kunde göras mellan tryckinställningarna för en viss diameterklass och mätprecisionen från manuell kontrollmätning för samma diameterklass. Den studerade diameterklassen innehöll rikligt med mätdata från manuell kontrollmätning och därmed en noggrann bestämning av skördarlagens mätprecision.

I figur 18 redovisas plottar av skördarnas genomsnittliga tryckinställningar för mätande organ (främre kvistknivar eller matarvalsar) under referensperioderna och motsvarande standardavvikelse för skördarnas diametermätning utifrån den manuella kontrollmätningen. Som framgår av figuren fanns det inom gruppen av skördare inget samband mellan det tryck som användes för mätande organ under respektive referensperiod och mätprecisionen i skördarnas diametermätning för samma period. Avsaknaden av samband inom gruppen av skördare mellan tryckinställning för mätande organ och mätprecisionen gällde såväl skördare med mätning i främre kvistknivar som skördare med mätning i matarvalsarna.

En förväntan inför studien var att det på skördarnivå skulle finnas ett positivt samband mellan tryckinställningar för mätande organ och mätprecisionen för diametermätningen men detta stöds alltså inte av resultaten från vår studie. Vi tolkar avsaknaden av samband som att det finns ett samspel mellan tryckinställningarna och andra faktorer som inte fullt ut kan beskrivas med hjälp av studiens data. Exempel på sådana faktorer kan vara individskillnader mellan skördaraggregat, skillnader inom diameterklass mellan den skog som avverkats (t.ex. form och kvistegenskaper), och skillnader i förarnas körstil. Effekten av den senare faktorn har kvantifierats i vår studie i ett separat experiment där skillnaden i standardavvikelsen för diametermätningen uppgick till 1,3 millimeter mellan ett ”mjukt” och ett ”aggressivt” körsätt.

Sammanfattningsvis indikerar vår studie att det inom gruppen av skördare inte fanns något samband mellan tryckinställningar och mätprecisionen i diametermätningen. Detta gällde såväl då tryckinställningen för mätande organ användes som förklarande variabel (figur 18) som då det summerade trycket för matarvalsar och främre och bakre kvistknivar användes som förklarande variabel (oredovisade data).

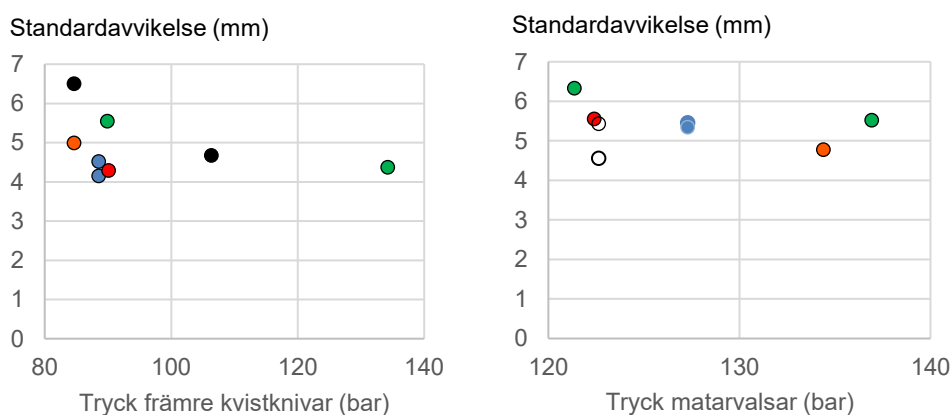


Figur 18. Plottar av skördarlagens tryckinställningar för mätande organ och standardavvikelsen för avvikelsen mellan manuell referensmätt diameter och skördarmätt diameter för diameterklassen 200–300 millimeter i gran. Vänster figur: skördarlag med mätning i främre kvistknivar. Höger figur: skördarlag med mätning i matarvalsar. För skördarlaget FK2 redovisas inte data för referensperiod 2 på grund av få manuella kontrollmätningar under denna period.

Figure 18. Plots of the harvester teams' pressure settings for the measuring tool and the standard deviation between diameter from the manual control measurement and diameter measured by the harvester in the diameter class 200-300 millimetres in spruce. Left: harvester teams with measurement in the front delimiting knives. Right: harvester teams with measurement in the feed rollers. For the FK2 harvester team, data is not shown for reference period 2 due to few manual control measurements during this period.

Vår studie indikerar att då olika maskiner jämförs överskuggas den potentiella effekten av tryckinställningar på skördarnas mätprecision i diametermätningen av andra faktorer. För att kunna renodla effekten av tryckinställningarna på mätprecisionen bör därför analysen inriktas mot studier av samband *inom enskilt skördarlag*. En sådan analys medger att andra faktorer som förarnas körteknik och individvariation mellan skördaraggregat i väsentligt högre grad kan hållas konstanta.

Effekten *inom skördarlag* av tryckinställningar för mätande organ och skördarnas mätprecision för gran och diameterklassen 200–300 millimeter framgår av (figur 19). I figuren redovisas motsvarande data som i (figur 18) men markeringarna har färglagts så att markeringar med samma färg indikerar data från samma skördarlag men för olika referensperiod. För fem av de åtta studerade skördarlagen medförde en ökning av trycket på det mätande organet en minskad standardavvikelse för avvikelsen mellan referensmätt och skördarmätt diameter. För två av lagen (blå markering) skedde ingen förändring av tryckinställningarna mellan perioderna och för dessa skördarlag noterades mindre förändringar av standardavvikelsen. För ett av lagen (markerad med ofyllda cirklar) noterades en påtaglig ökning av standardavvikelsen trots att tryckinställningarna inte förändrats mellan referensperioderna. Sammanfattningsvis indikerar dessa data att det, med undantag för ett skördarlag, fanns en logisk koppling inom skördarlag mellan trycket för mätande organ och standardavvikelsen för skördarnas diametermätning för gran i diameterklassen 200–300 millimeter.



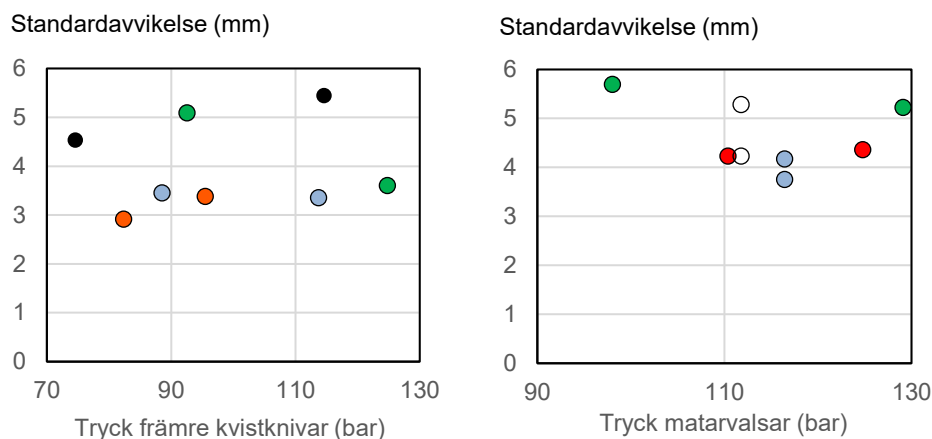
Figur 19.

Plottar av skördarlagens tryckinställningar för mätande organ och standardavvikelsen för avvikelsen mellan manuellt referensmätt diameter och skördarmätt diameter för diameterklassen 200–300 millimeter i gran. Punkter med samma färg indikerar mätdata för samma skördarlag för olika referensperiod. Vänster figur: skördarlag med mätning i främre kvistknivar. Höger figur: skördarlag med mätning i matarvalsar. För skördarlaget FK2 redovisas inte data för period 2 på grund av få manuella kontrollmätningar under denna period.

Figure 19.

Plots of the harvester teams' pressure settings for the measuring tool and the standard deviation between diameter from the manual control measurement and diameter measured by the harvester in the diameter class 200–300 millimetres in spruce. Circles with the same colour indicate data from the same harvester team for different reference periods. Left: harvester teams with measurement in the front delimiting knives. Right: harvester teams with measurement in the feed rollers. For the FK2 harvester team, data is not shown for reference period 2 due to few manual control measurements during this period.

En intressant fråga att belysa är huruvida den logiska kopplingen mellan tryckinställningar och mätprecision som noterades för diameterklassen 200–300 millimeter även kan återfinnas för lägre diameterklasser där virket som upparbetas i lägre utsträckning belastar de mätande organen. I figur 20 redovisas motsvarande data som i (figur 19) fast för gran i diameterklassen 100–200 millimeter.



Figur 20.
Plottar av skördarlagens tryckinställningar för mätande organ och standardavvikelsen för avvikelsen mellan manuellt referensmätt diameter och skördarmätt diameter för diameterklassen 100–200 millimeter i gran. Punkter med samma färg indikerar mätdata för samma skördarlag för olika referensperiod. Vänster figur: skördarlag med mätning i främre kvistknivar. Höger figur: skördarlag med mätning i matarvalsar. För skördarlaget FK2 redovisas inte data för period 2 på grund av få manuella kontrollmätningar under denna period.

Figure 20.
Plots of the harvester teams' pressure settings for the measuring tool and the standard deviation between diameter from the manual control measurement and diameter measured by the harvester in the diameter class 100–200 millimetres in spruce. Circles with the same colour indicate data from the same harvester team for different reference periods. Left: harvester teams with measurement in the front delimiting knives. Right: harvester teams with measurement in the feed rollers. For the FK2 harvester team, data is not shown for reference period 2, due to few manual control measurements during this period.

En första analys av data i (figur 20) ger intryck av att den logiska kopplingen mellan tryckinställningar och mätprecision inom skördarlag inte var lika framträdande för diameterklassen 100–200 millimeter som för diameterklassen 200–300 millimeter. Närmare granskning av data indikerar dock att det finns anledning att nyansera denna tolkning. Resultat från simuleringsstudier visar att den maximala mätprecisionen för mätsystem med tre mätpunkter motsvarar en standardavvikelse på 3,0 – 3,5 millimeter (Andersson, 2004). För två av skördarlagen med mätning i främre kvistknivar (röda och blå cirklar) låg standardavvikelsen på 2,9 respektive 3,4 millimeter under den första referensperioden. Detta innebär att mätprecisionen inte kan förväntas öka ytterligare och för dessa två skördarlag noterades ingen eller marginell förändring av standardavvikelsen då trycket ökades.

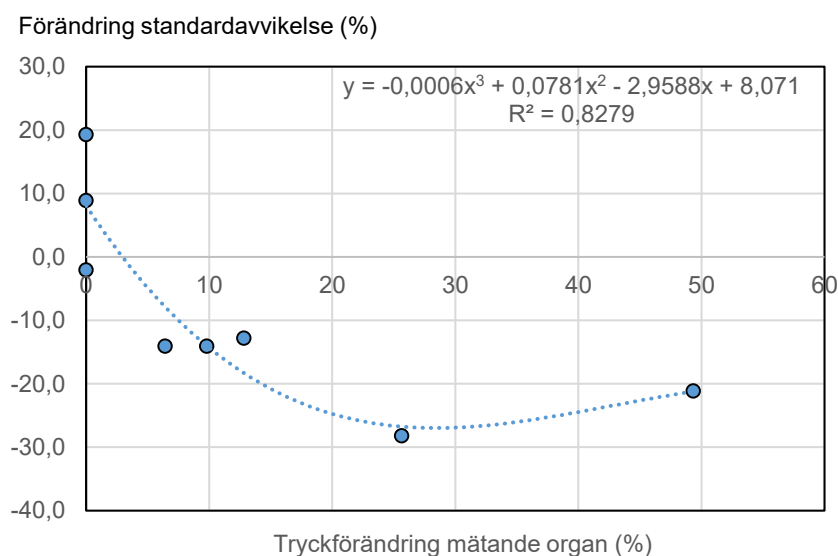
För de återstående två skördarlagen med mätning i främre kvistknivar (svarta och gröna cirklar) var standardavvikelsen under den första referensperioden väsentligt över nivån som motsvarar den teoretiskt maximala mätprecisionen. För båda dessa skördarlag ökades trycket markant inför den andra referensperioden. Responsen för ett av de två skördarlagen (gröna cirklar) blev en minskning av standardavvikelsen ned till 3,6 millimeter, det vill säga nära nivån för teoretiskt maximal mätprecision. Motsvarande respons för det andra skördarlaget (Svarta cirklar) blev en ökning av standardavvikelsen, vilket är ologiskt och kan inte förklaras med hjälp av data från studien.

För två av skördarna med mätning i matarvalsar fanns det en direkt logisk koppling mellan tryckförändringen och mätprecisionen. För skördare indikerade med grön färg medförde en ökning av trycket en minskning av standardavvikelsen medan en marginell förändring av standardavvikelsen noterades för ett av skördarlagen som inte förändrade tryckinställningarna mellan referensperioderna (blå cirklar). En möjlig orsak till den marginella förändring som noterades då trycket ökades för skördaren indikerad med (röda cirklar) är att den praktiskt maximala mätprecisionen för skördare med mätning i matarvalsar är cirka 4 millimeter. För det återstående skördarlaget med mätning i matarvalsar (ofyllda cirklar) noterades en kraftig minskning av standardavvikelsen trots att trycket inte förändrades mellan referensperioderna. Denna ologiska förändring kan inte förklaras med data från studien.

Sammanfattningsvis indikerar vår studie att det inom skördare för diameterklassen 100–200 millimeter fanns en logisk koppling mellan mätprecision och tryckinställningar för mätande organ men att denna koppling var mindre tydlig än för diameterklassen 200–300 millimeter. En sannolik orsak till den svagare kopplingen var att flera av skördarlagen hade en standardavvikelse som låg nära den nivå som motsvarar den teoretiskt maximala mätprecisionen. Detta innebär att en förbättring av mätprecisionen till följd av ökat tryck för det mätande organet inte kan förväntas för dessa skördare.

Är det möjligt att utifrån data från vår studie prediktera vilken effekt som kan förväntas på skördarnas mätprecision utifrån en förändrad tryckinställning för det mätande organet? För att försöka besvara denna fråga beräknades den procentuella förändring av tryckinställningarna som gjorts för skördarnas mätande organ mellan referensperioderna för gran i diameterklassen 200–300 millimeter (tabell 4). Förändringarna av skördarlagens tryckinställningar plottades därefter mot den procentuella förändring av standardavvikelsen för skördarnas diametermätning som skett mellan referensperioderna för gran i samma diameterklass (figur 21).

Figur 21 indikerar att det för skördarlagen i studien fanns ett icke-linjärt förhållande mellan förändringen av tryckinställningarna och förändringen av skördarnas mätprecision för diametermätningen. Utifrån den nivå på tryckinställningarna för mätande organ som skördarlagen hade under den första referensperioden (motsvaras av 0 procent tryckförändring) minskade standardavvikelsen för diametermätningen linjärt med ökande tryck upp till en tryckökning på cirka 25 procent. Ytterligare ökning av trycket för mätande organ medförde att förändringen av standardavvikelsen för diametermätningen planade ut och ökade.



Figur 21.

Samband mellan procentuell förändring av tryckinställningarna för skördarnas mätande organ mellan referensperioderna för gran i diameterklassen 200–300 millimeter och procentuell förändring av standardavvikelsen för skördarnas diametermätning mellan referensperioderna för gran i samma diameterklass. För skördarlaget FK2 redovisas inte den förändring som skett mellan referensperiod 1 och 2 på grund av få manuella kontrollmätningar under period 2.

Figure 21.

Relationship between percentage change in the pressure settings of the harvester's measuring tool between the reference periods for spruce and diameter class 200–300 millimetres, and the percentage change in the standard deviation for the harvester's diameter sensing between the reference period in the same diameter class and species. Data showing the change between reference period 1 and 2 is not shown for the FK2 harvester team due to few manual control measurements during reference period 2.

Det bör framhållas att den icke-linjära regressionslinje som anpassats till data i (figur 21) är osäkert bestämd då den baseras på få mätpunkter (8 stycken) och det är därför angeläget att sambandet studeras vidare i fortsatta studier. Med detta sagt bör det också framhållas att regressionslinjens utseende ter sig i stora delar logiskt och vi tolkar den linjära minskningen av standardavvikelsen upp till 25 procent ökning av trycken för mätande organ som en följd av förbättrad stamhållning och därmed förbättrad anläggning av de berörande mätorganen. Den avmattning/ökning av standardavvikelsen för diametermätningen som skedde för tryckökningar över 25 procent indikerar att någon annan faktor tilltagit i betydelse. En potentiell sådan faktor kan vara andelen barkskador som i tidigare studier visats sig öka med ökande tryck för kvistknivarna (Björklund m.fl., 2008), vilket medför att mätprecisionen från diametermätningen minskar (Möller m.fl., 2008).

För inga eller mycket små ökning av trycket för mätande organ indikerar den icke-linjära regressionslinjen en ökning av standardavvikelsen för diametermätningen, vilket är uppenbart ologiskt. Till stor del var detta dock en anpassning till den avvikande observationen för ett av skördarlagerna där standardavvikelsen ökade med 20 procent trots att tryckinställningarna för den aktuella diameterklassen inte förändrats. Någon orsak som kan förklara varför standardavvikelsen ökade påtagligt för detta skördarlag har inte gått att finna inom ramen för denna studie.

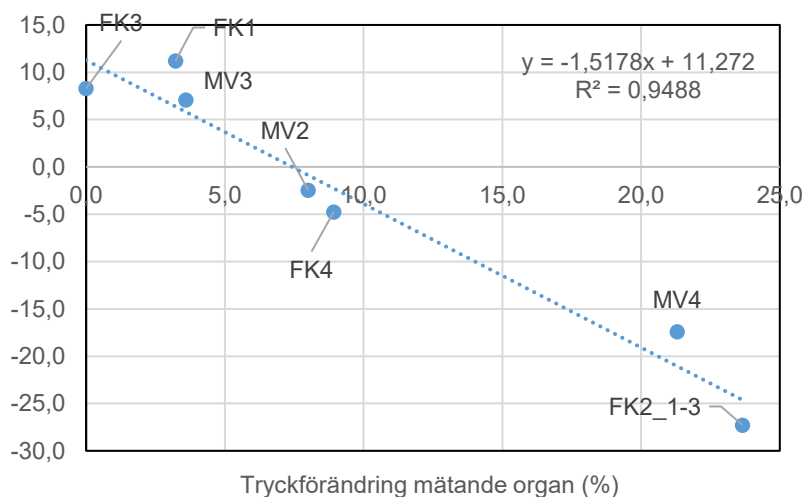
Sammanfattningsvis indikerar vår studie att det inom skördarlag och för diameterklassen 200–300 millimeter fanns ett icke-linjärt samband mellan tryckökningen för skördarnas mätande organ och mätprecisionen i diametermätningen. Är detta samband generellt för gruppen av Ponsse-skördare med H7 aggregat innebär det att skördare inom denna grupp som har tryckinställningar liknande de som skördarna hade i vår studie under den första referensperioden skulle kunna minska standardavvikelsen i diametermätningen med cirka 25 procent genom att öka trycket för mätande organ med cirka 25 procent. En minskning av standardavvikelsen med 25 procent för diameterklassen 200–300 millimeter i gran motsvarar utifrån medelvärden för referensperiod 1 i vår studie en minskning av standardavvikelsen från 5,3 till 4,0 millimeter det vill säga en minskning med 1,3 millimeter.

I studien gjordes en ytterligare analys på övergripande nivå av sambanden inom skördarlag mellan tryckinställningar och mätprecisionen i diametermätningen. I analysen aggregerades informationen om tryckinställningarna för det mätande organet genom att det genomsnittliga trycket för tall och gran inom diameterklasserna 0–400 millimeter beräknades för respektive referensperiod (Tabell 4). Förändringen av det genomsnittliga trycket mellan referensperioderna plottades därefter mot motsvarande förändring av den totala standardavvikelsen för tall och gran mellan referensperioderna (figur 22).

Det fanns ett starkt linjärt samband ($R^2=0,95$) mellan förändringen av skördarlagens genomsnittliga tryck för diameterklassen 0–400 millimeter över tall och gran och motsvarande förändring av standardavvikelsen för diametermätningen. Sambandet liknade det som noterades för gran i diameterklassen 200–300 millimeter på så sätt att det fanns en direkt proportionalitet mellan variablerna upp till den maximala förändringen av tryckinställningen på 25 procent. Vidare fanns en likhet i det att inga eller små förändringar av trycket predikterades ge en ologisk ökning av standardavvikelsen för diametermätningen.

Sammanfattningsvis tolkar vi detta resultat som att det samband som tidigare konstaterats inom skördarlag mellan tryckinställningar och mätprecisionen i diametermätningen för gran i diameterklass 200–300 millimeter också var giltigt då samtliga diameterklasser för tall och gran beaktades. Våra resultat indikerar dock att effekten av tryckförändringen för mätande organ på mätprecisionen kommer att vara beroende av den aktuella nivån på mätprecisionen. För klenare diameterklasser, med en mätprecision som ligger närmare den teoretiskt maximala nivån, kan effekten av förändrat tryck för mätande organ generellt förväntas vara svagare.

Förändring standardavvikelse, manuell kontroll



Figur 22.

Samband mellan procentuell förändring av tryckinställningarna för skördarnas mätande organ mellan referensperioderna för gran och tall i diameterklassen 0–400 millimeter och procentuell förändring av den totala standardavvikelsen för skördarnas diametermätning mellan referensperioderna. För skördarlagarna FK2 och MV1 redovisas inte den förändring som skett mellan referensperiod 1 och 2 på grund av få manuella kontrollmätningar under period 2.

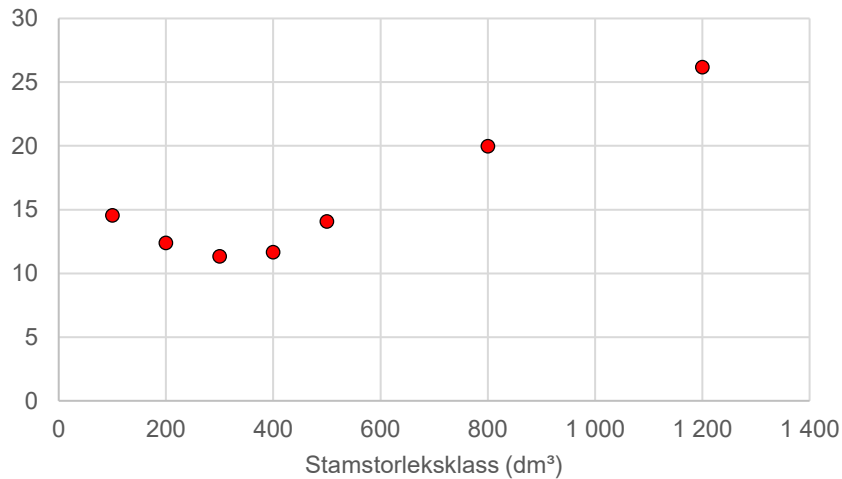
Figure 22.

Relationship between percentage change in the pressure settings of the harvester's measuring tool between the reference periods for spruce and pine and diameter class 0–400 millimetres, and the percentage change in the standard deviation for the harvesters' diameter sensing between the reference period in the same diameter class and species. Data showing the change between reference period 1 and 2 is not shown for the FK2 and MV1 harvester teams due to few manual control measurements during period 2.

STAMHÅLLNING

I figur 23 redovisas skördarlagens genomsnittliga andel kap i planområde/-stamhack summerat över de två referensperioderna. Med undantag för de minsta stamstorleksklasserna ökade andelen kap i planområde/stamhack linjärt med ökande stamstorleksklass. Ett centralt antagande i vår studie var att planområde/stamhack uppkommer för partier där stammen inte ligger an mot samtliga mätpunkter som används för diametermätning t.ex. att de främre rörliga kvistknivarna tryckts ut och stammen har förlorat kontakten med den fasta mätpunkten i aggregatets ram. Vi tolkar den generella trenden med ökande andel kap i planområde/stamhack med ökande stamstorlek som en storlekseffekt där den ökande massa och därmed belastning som följer med ökande diameter ökar sannolikheten för att någon av mätpunkterna ska förlora kontakten med stammen.

Andel kap i planområde/stamhack (%)



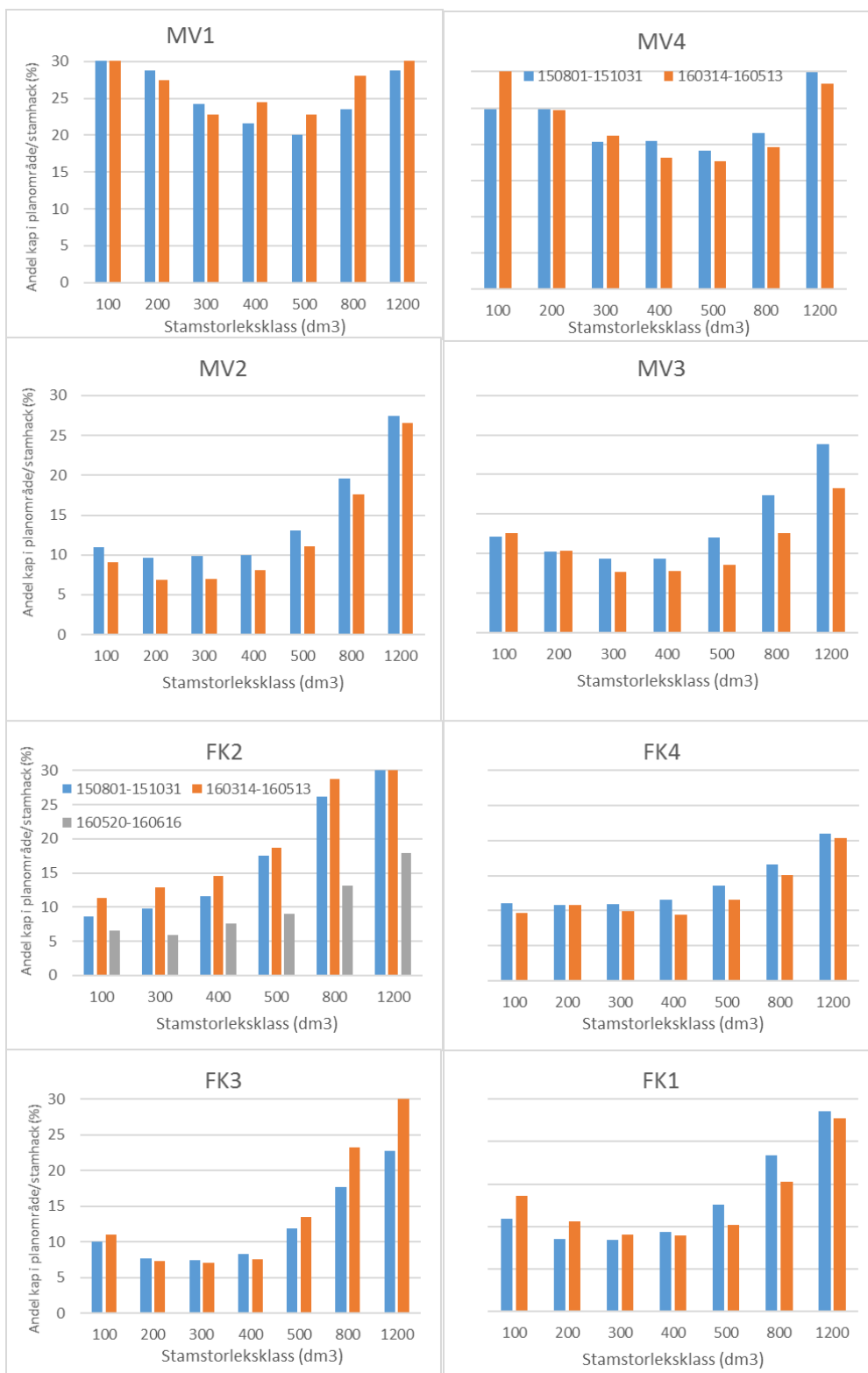
Figur 23.

Skördarlagens genomsnittliga andel kap i planområde/stamhack per stamstorleksklass summerat över de två referensperioderna.

Figure 23.

The harvester teams' average proportion of cuts in flat areas and areas with stem hack across the two reference periods.

För de minsta stamstorleksklasserna fanns en tendens till ökande andel kap i planområde/stamhack och denna tendens kan inte förklaras som en storleks-effekt. Denna tendens förekom framför allt för två av skördarlagen MV1 och MV4 (figur 24). För övriga skördarlag förekom inte denna tendens, alternativt var den avgränsad till den allra minsta stamstorleksklassen 100 dm³ (motsvarar dbh~16 centimeter). Vi har i dagsläget ingen förklaring till denna tendens för de minsta stammarna. Att fullt ut förstå och beskriva vad som orsakar uppkomsten av planområde/stamhack är en angelägen uppgift men det har legat utanför ramen för vår studie.

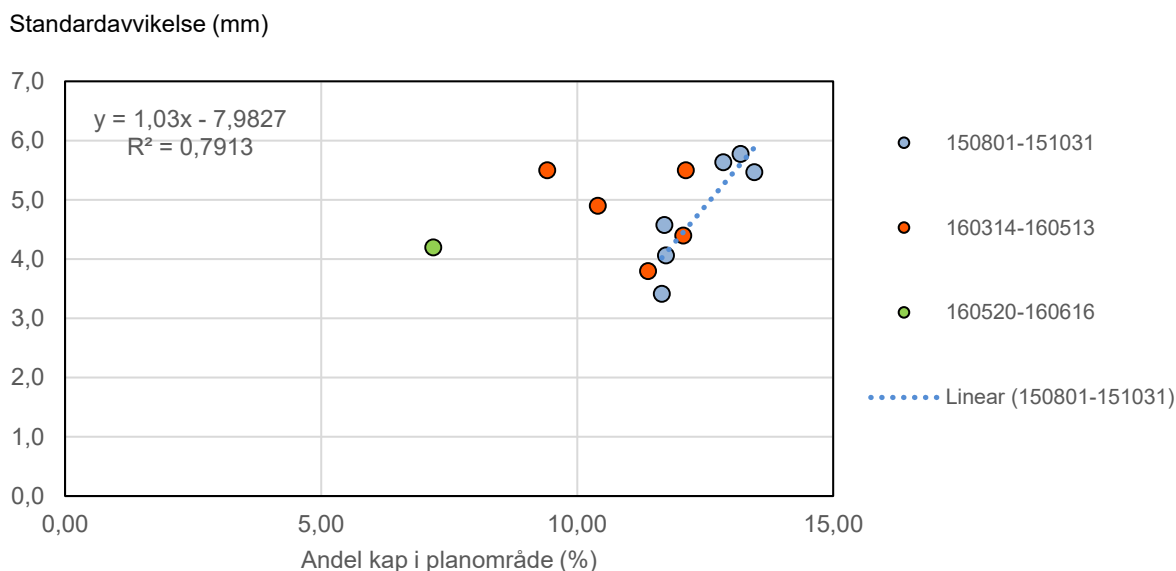


Figur 24.
Genomsnittlig andel kap i planområde/stamhack per stamstorleksklass för de enskilda skördarlagen för referensperioderna 1 och 2. För skördarlaget FK2 redovisas värden även för en tredje referensperiod.

Figure 24.
The harvester teams' average proportion of cuts in flat areas and areas with stem hack for the reference periods 1 and 2. For the FK2 harvester team, data is also shown for a third reference period.

SAMBAND MELLAN MÄTPRECISION FRÅN MANUELL KONTROLLMÄTNING OCH STAMHÅLLNING

I figur 25 redovisas sambandet mellan andelen kap i planområde/stamhack och standardavvikelsen för skördarnas diametermätning för referensperioderna. I figuren ingår inte data för skördarlagena MV1 och MV4 eftersom andelen kap i planområde/stamhack för dessa skördarlag avvek kraftigt från övriga skördarlag (figur 24). Vidare ingick inte data för skördarlaget FK2 under den andra referensperioden på grund av få kontrollmätta stammar under denna period.



Figur 25. Samband mellan andel kap i planområde/stamhack och standardavvikelsen för skördarnas diametermätning för referensperioderna. Linjär regressionslinje anpassad till data från referensperiod 1.

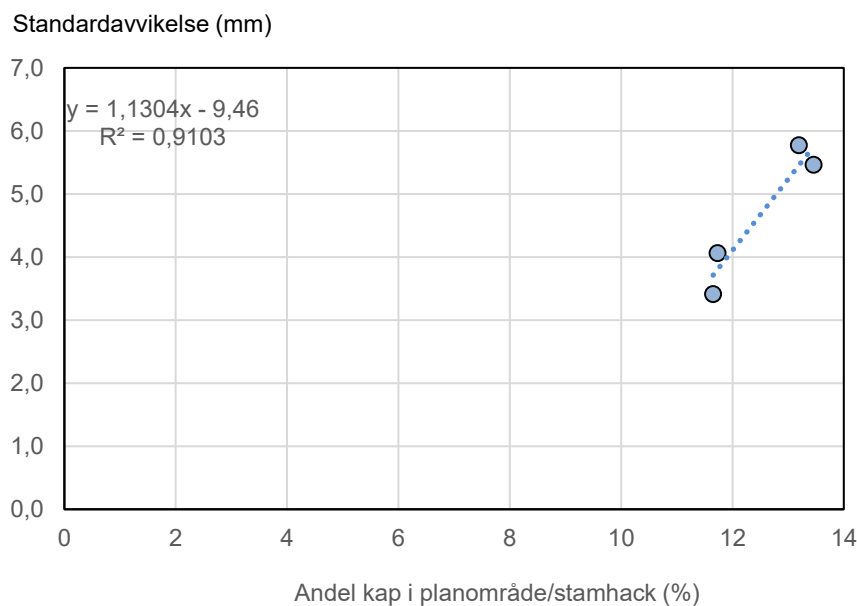
Figure 25. Relationship between proportion of cuts in flat areas and areas with stem hack and the standard deviation of the harvester's diameter sensing for the reference periods. The linear regression line is fitted to data from reference period 1.

Under den första referensperioden (blå cirklar) fanns det ett starkt och logiskt samband ($R^2=0,79$) mellan skördarnas andel kap i planområde/stamhack och standardavvikelsen för diametermätningen. I motsvarande data från den andra referensperioden (orange cirklar) fanns det inte något samband mellan de två variablerna och detsamma gällde då data från samtliga tre referensperioder inkluderades.

En berättigad fråga är varför förhållandet mellan variablerna var så olika för Referensperiod 1 och 2. En möjlig hypotes är att sambandet mellan skördarnas andel kap i planområde/stamhack och standardavvikelsen för diametermätningen skiljer sig mellan skördare som mäter diametern med hjälp av matarvalsar respektive främre kvistknivar. I det fortsatta undersöks denna hypotes närmare.

För gruppen av skördare som mätte diametern med hjälp av matarvalsar fanns relevanta data enbart för två skördarlag, vilket gör att data är alltför begränsade för att hypotesen ska kunna undersökas närmare för denna grupp. För de fyra skördarlag som mätte diametern med hjälp av främre kvistknivar plottas sam-

bandet mellan skördarnas andel kap i planområde/stamhack och standardavvikelsen för diametermätningen under den första referensperioden i (figur 26). Under denna period fanns det ett närmast absolut samband mellan de två variablerna ($R^2=0,91$).



Figur 26.

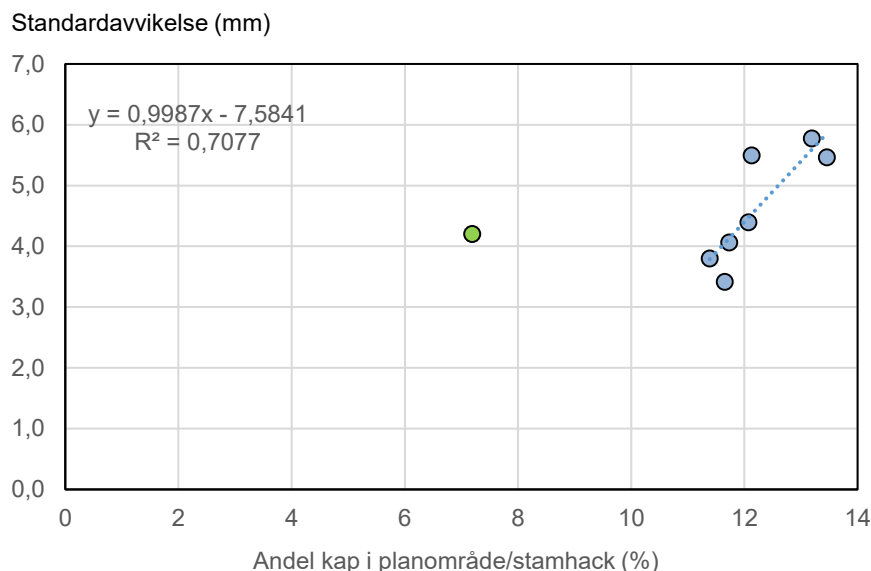
Samband mellan andel kap i planområde/stamhack och standardavvikelsen för skördarnas diametermätning för referensperiod 1 för skördare som mätte diametern med hjälp av främre kvistknivar.

Figure 26.

Relationship between proportion of cuts in flat areas and areas with stem hack and the standard deviation of the harvester's diameter sensing for the reference period 1 for harvesters with diameter sensing in the front delimiting knives.

I figur 27 återfinns data för samtliga tre referensperioder för de fyra skördarlagen. Blå cirklar indikerar data för referensperiod 1 och 2 och för dessa data fanns det ett starkt samband mellan skördarnas andel kap i planområde/stamhack och standardavvikelsen för diametermätningen ($R^2=0,71$). Datapunkten markerad med grå färg kommer från den tredje referensperioden för skördarlaget FK2 då trycket för kvistknivarna höjts markant. Denna datapunkt kan förefalla extremt avvikande men dess position bör ställas i relation till ett förväntat utseende på sambandet mellan skördarnas andel kap i planområde/stamhack och standardavvikelsen för diametermätningen.

Resultat från simuleringar av mätprecisionen vid diametermätning för stockar med grövre dimensioner indikerar att den maximala mätprecisionen för mät-system med tre mätpunkter motsvarar en standardavvikelse på 3 – 3,5 millimeter (Andersson, 2004). Detta innebär att det linjära sambandet mellan andelen kap i planområde/stamhack och standardavvikelsen för skördarnas diametermätning kan förväntas böja av kraftigt för andelen kap i planområde/stamhack som understiger cirka 11 procent. Datapunkten från den tredje referensperioden ter sig utifrån detta resonemang inte extremt avvikande.



Figur 27. Samband mellan andel kap i planområde/stamhack och standardavvikelsen för skördarnas diametermätning för samtliga tre referensperioder för skördare som mätte diametern med hjälp av främre kvistknivar.

Figure 27. Relationship between proportion of cuts in flat areas and areas with stem hack and the standard deviation of the harvester's diameter sensing for all reference periods for harvesters with diameter sensing in the front delimiting knives.

Sammanfattningsvis ger data från vår studie visst stöd för att det i gruppen av skördare som mäter diametern med hjälp av främre kvistknivar finns ett samband mellan andelen kap i planområde/stamhack och standardavvikelsen för skördarnas diametermätning. Är sambandet som redovisas i (figur 27) generellt för skördare med mätning i främre kvistknivar, bör det vara användbart för att justera in tryckinställningar med hjälp av data från den löpande produktionen. Hur detta ska ske bör studeras närmare men med utgångspunkt i data från vår studie bör tryckinställningar justeras så att andelen kap i planområde/stamhack hamnar runt 11 procent, vilket motsvarar den maximala mätprecision som kan erhållas från skördarnas diametermätning.

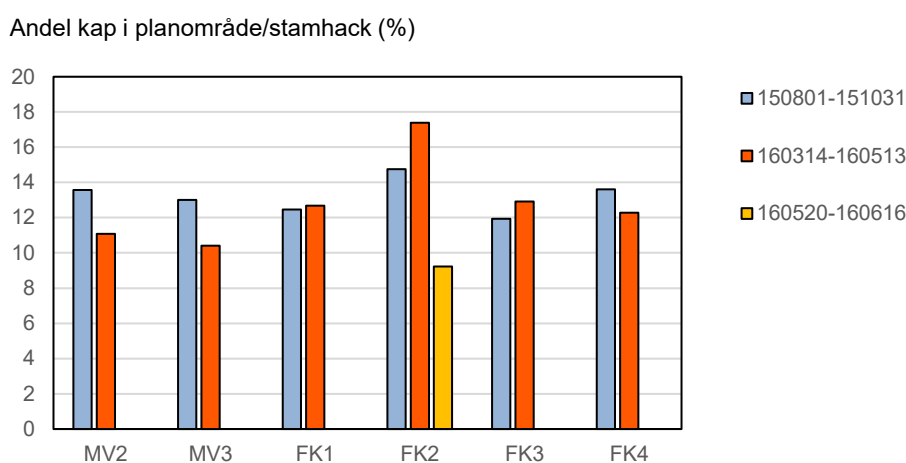
Det bör avslutningsvis framhållas att resultaten från vår studie bör betraktas med viss försiktighet och det är angeläget att resultaten följs upp med vidare studier. Speciellt gäller detta skördare som mäter diametern med hjälp av matarvalsarna där datamaterialet i vår studie är alltför begränsat för att ge svar kring hur sambandet ser ut mellan andelen kap i planområde/stamhack och mätprecisionen.

För framtiden är det vidare angeläget att måttet över andelen kap i planområde/stamhack vidareutvecklas. I dagsläget medger måttet en redovisning per stamstorleksklass för trädslagen tall och gran gemensamt men en mer finstämd redovisning av måttet per trädslag och diameterklass skulle möjliggöra mer detaljerade studier och kunna höja precisionen i potentiella tillämpningar.

SAMBAND MELLAN TRYCKINSTÄLLNINGAR OCH STAMHÅLLNING

I figur 28 redovisas minsta kvadratmedelvärden för skördarlagens andel kap i planområde/stamhack för referensperioderna. Minsta kvadratmedelvärden uttrycker den genomsnittliga andelen kap i planområde/stamhack efter kompensering för skillnader i fördelning av stamstorleksklasser mellan skördarlag.

För tre av skördarlagen: FK1, FK2 och FK3, noterades ingen förändring eller en ökning av andelen kap i planområde/stamhack mellan referensperiod 1 och 2. För övriga tre skördarlag noterades en minskning av andelen kap i planområde/stamhack mellan period 1 och 2. För skördarlaget FK2 registrerades data för en tredje referensperiod och under denna period minskade andelen kap i planområde/stamhack kraftigt. I samtliga dessa fyra fall var minskningen av andelen kap i planområde mellan referensperioderna statistiskt säkerställd med en hög grad av säkerhet ($p < 0,0001$).



Figur 28.

Minsta kvadratmedelvärden för skördarlagens andel kap i planområde/stamhack uppdelat på de referensperiod 1 och 2. För skördarlaget FK2 redovisas även värden för referensperiod 3. Minsta kvadratmedelvärden uttrycker genomsnittligt andel kap i planområde/stamhack för skördarlagen efter kompensering för skillnader mellan skördarlagen i fördelning av stamstorleksklasser.

Figure 28.

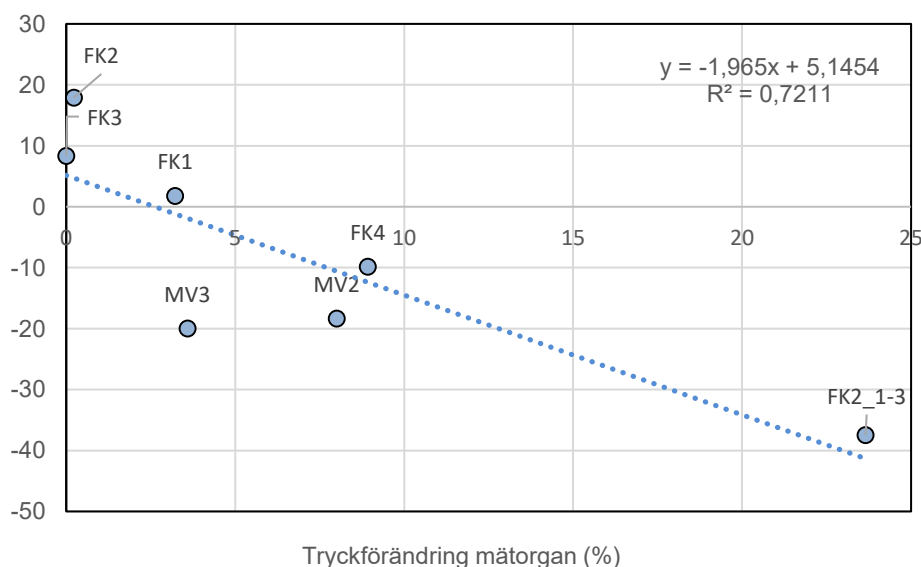
Least square means for the harvester teams' proportion of cuts in flat areas and areas with stem hacks for the reference periods 1 and 2. For the FK harvester team, data is also shown for the reference period 3. Least square means express the harvester teams' average number of cuts in flat areas and areas with stem hack after compensation for differences among the harvester teams in their distribution of stem size classes.

Den förändring som skedde för skördarlagens genomsnittliga andel kap i planområde mellan referensperioderna jämfördes med den förändring som gjorts för tryckinställningarna för respektive skördarlags mätande organ (matarvalsar eller främre kvistknivar) inom diameterintervallet 0–400 millimeter mellan referensperioderna (tabell 4).

Det fanns ett statistiskt säkerställt ($p=0,01$, $R^2=0,72$) negativt samband mellan förändringen av skördarlagens tryckinställning för mätande organ inom diameterintervallet 0–400 millimeter och förändringen av andelen kap i planområde/stamhack mellan referensperioderna (figur 29). Detta innebär att en ökning av trycket mellan referensperioderna medförde en minskning av andelen kap i planområde/stamhack under den senare referensperioden. Minskningstakten för andelen kap i planområde/stamhack som följde av ett ökat tryck kan utifrån sambandet kvantifieras till 2,0 procent det vill säga att en ökning av trycket med 10 procent kan utifrån datasammansättningen i vår studie förväntas medföra en minskning av andelen kap i planområde/stamhack med 20 procent.

Allmängiltigheten i det logiska samband som etablerats i vår studie mellan tryckförändring för mätande organ och stamhållningsmättet bör i nuläget tas med en viss försiktighet. Inte minst för att vår studie innehåller data för enbart en modell av ett skördaraggregat och för en viss definition av stamhållningsmättet. Vidare studier av detta samband samt av sambandet mellan den samlade påverkan av trycken för matarvalsar, främre och bakre kvistknivar är viktiga komponenter för att generera kunskap som kan användas för att underlätta arbete med att ställa in tryck för den enskilda skördaren.

Förändring av andel kap i planområde/stamhack (%)



Figur 29. Sambandet mellan skördarlagens förändring av trycket för mätande organ inom diameterintervallet 0–400 millimeter och förändringen av andelen kap i planområde/stamhack mellan referensperioderna 1 och 2. För datapunkten FK2_1–3 görs jämförelse mellan referensperiod 1 och 3.

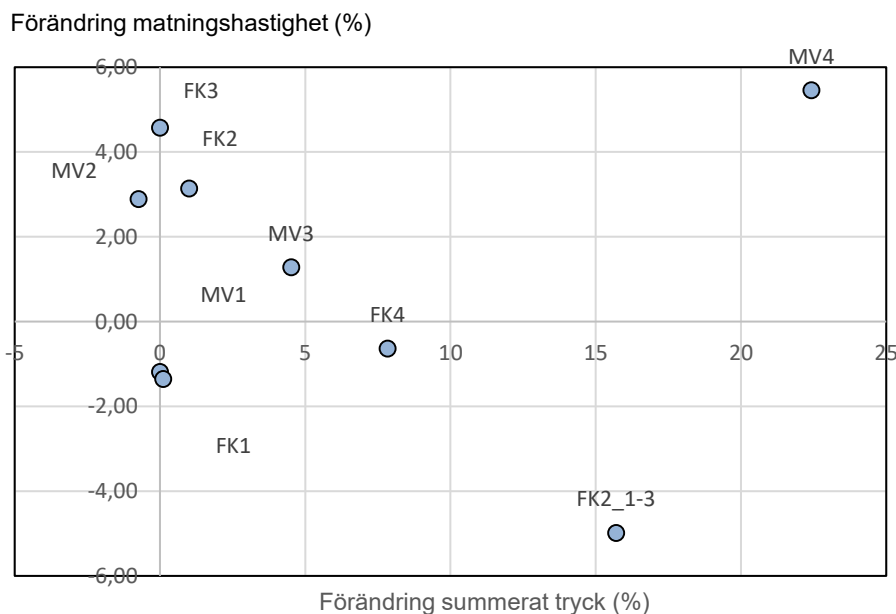
Figure 29. Relationship between the harvester teams' changes in pressure settings for the measuring tool within the diameter interval 0–400 millimetres and the change in the proportion of cuts in flat areas and areas with stem hack between the reference periods 1 and 2. For the FK2_1–3 data point, the reference period 1 is compared with reference period 3.

SAMBAND MELLAN TRYCKFÖRÄNDRINGAR OCH ÖVRIGA ECODRIVE-VARIABLER

Vår studie har visat ett positivt samband inom skördare mellan trycket för det mätande organet (matarvalsar eller kvistknivar) och förändringen av mätprecisionen i diametermätningen, det vill säga inom skördare ökade mätprecisionen generellt med ökande tryck. En angränsande fråga som är angelägen att besvara är hur ett ökat tryck på matarvalsar eller kvistknivar påverkar andra centrala parametrar som matningshastighet och bränsleförbrukning?

I figur 14 redovisas skördarlagens genomsnittliga matningshastighet per stamstorleksklass och referensperiod. Den största ökningen av den genomsnittliga matningshastigheten mellan referensperioderna noterades för skördarlagerna MV4 och FK3 medan skördarlaget FK2 mellan period 1 och 3 stod för den största minskningen.

I figur 30 har förändringen av skördaraggregatens genomsnittliga matningshastighet mellan referensperioderna plottats mot förändringen av summerade tryck för matarvalsar, främre och bakre kvistknivar för tall och gran inom diameterintervallet 0–400 millimeter. Genomsnittliga matningshastigheten för referensperioderna var uttryckt som minsta kvadratmedelvärden, det vill säga de uttryckte den genomsnittliga matningshastigheten efter kompensering för skillnader i fördelning av stamstorleksklasser mellan skördarlag.



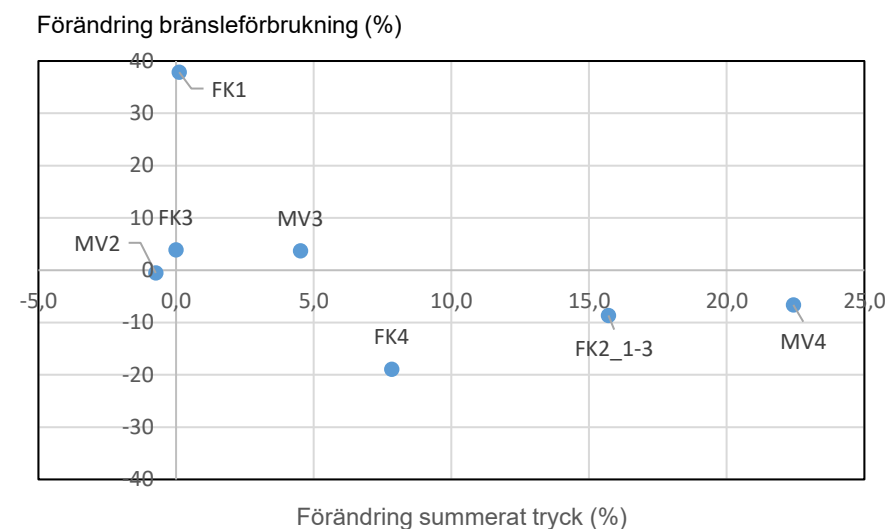
Figur 30.

Sambandet mellan skördarlagens förändring av det summerade trycket för matarvalsar samt främre och bakre kvistknivar för tall och gran inom diameterintervallet 0–400 millimeter och förändringen av den genomsnittliga matningshastigheten mellan referensperiod 1 och 2. För datapunkten FK2_1–3 görs jämförelse mellan referensperiod 1 och 3.

Figure 30.

Relationship between the harvester team's change of the summed pressure for the feeding rolls, front and rear knives for spruce and pine within the diameter interval 0–400 millimetres and the change in the average feeding speed between the reference periods 1 and 2. For the FK2_1–3 data point, the reference period 1 is compared with the reference period 3.

För de två skördarlag med de största förändringarna av det summerade trycket (>15 procent) noterades motsatt respons för den genomsnittliga matningshastigheten; en ökning respektive minskning med 5 procent (figur 30). För flertalet av skördarlagen var förändringen av det summerade trycket mindre än 10 procent och inom denna grupp fanns det inte heller någon tendens att förändringen av det summerade trycket var sammankopplat med förändringen av den genomsnittliga matningshastigheten. Sammanfattningsvis fann vi inte något samband mellan förändringen av det summerade trycket för matarvalsar samt främre och bakre kvistknivar och förändringen av den genomsnittliga matningshastigheten. Detta gällde också ifall tryckförändringen uttrycktes för det mätande organet eller för enbart kvistknivarna (oredovisade data).



Figur 31. Sambandet mellan skördarlagens förändring av det summerade trycket för matarvalsar samt främre och bakre kvistknivar för tall och gran inom diameterintervallet 0–400 millimeter och förändringen av bränsleförbrukningen mellan referensperioderna 1 och 2. För datapunkten FK2_1–3 görs jämförelse mellan referensperioden 1 och 3. Skördarlagen MV1 och FK2 (period 1 till 2) ingår inte i figuren då de uppvisade en orimligt hög ökning av bränsleförbrukningen mellan referensperioderna.

Figure 31. Relationship between the harvester team's change in the totalled pressure for the feed rollers, front and rear knives for spruce and pine within the diameter interval 0–400 millimetres and the change in the average fuel consumption between the reference periods 1 and 2. For the FK2_1–3 data point, the reference period 1 is compared with the reference period 3. The data point for the MV1 and FK2 harvester teams (periods 1 to 2) are not included in the figure as these teams showed extreme values (>70 percent increase of fuel consumption following a 1 percent increase of pressure).

I figur 31 har förändringen av skördarlagens genomsnittliga förbrukning av bränsle per G_{15} -tid och avverkad volym (l/m^3 fub) mellan referensperioderna plottats mot förändringen av skördarlagens summerade tryck för matarvalsar, främre och bakre kvistknivar för tall och gran inom diameterintervallet 0–400 millimeter. Skördarlagens genomsnittliga bränsleförbrukning för referensperioderna var uttryckta som minsta kvadratmedelvärden det vill säga de uttryckte den genomsnittliga bränsleförbrukningen efter kompensering för skillnader i fördelning av stamstorleksklasser mellan skördarlag.

För flertalet av skördarlagen låg förändringen av bränsleförbrukningen inom +/-10 procent medan större förändringar noterades för två av skördarlagen (figur 31). Sammantaget noterades inget samband mellan förändringen av det summerade trycket och förändringen av bränsleförbrukningen. Detta gällde också ifall tryckförändringen uttrycktes för det mätande organet eller för enbart kvistknivarna (oredovisade data).

En förväntan inför studien var att ett ökat tryck för matarvalsar och kvistknivar skulle ha en ogynnsam inverkan på matningshastighet och bränsleförbrukning. Detta stöds dock inte av data från studien. Matningshastigheten och bränsleförbrukningen påverkas dock av ett stort antal maskininställningar och i vår studie har vi enbart haft experimentell kontroll över en mindre del av dessa. Det kan därför inte uteslutas att andra maskininställningar kan ha förändrats mellan referensperioderna, vilket kan ha påverkat resultaten från vår studie.

Att närmare studera samband mellan tryckinställningar och produktivitetsrelaterade parametrar som matningshastighet och bränsleförbrukning är ett viktigt område för vidare studie. Vi föreslår att sådana genomförs inom skördare och objekt där tryckinställningarna förändras och responsen i matningshastighet och bränsleförbrukning registreras. Genom att studera detta inom objekt kan andra faktorer som påverkar parametrarna i ökad utsträckning hållas konstanta, vilket bör ge ökad precision i studier av samband mellan tryckinställningar och matningshastighet/bränsleförbrukning.

SAMBAND MELLAN FÖRARENS KÖRTEKNIK OCH SKÖRDARENS MÄTPRECISION

När skördarens mätprecision, mätt som skillnaden mellan skördarens mätning (M1) och en manuell kontrollmätning (M2), jämfördes mellan de två studieleden A och B uppmättes en skillnad om 1,3 millimeter (motsvarande en ökning på 25 procent) högre standardavvikelse och 0,5 millimeter större genomsnittlig överskattning av stammens diameter för studieled B där föraren instruerades att prioritera matning av stammen framför följsamhet. Detta sammantaget motsvarades av 14 procent lägre andel diametermätningar inom ± 4 millimeter från den manuella kontrollmätningen (tabell 7).

Tabell 7.

Uppmätt mätprecision i de två studieleden A och B där A motsvarar en mjuk och följsam körteknik medan B motsvarar en körteknik med fokus på matning.

Table 7.

Measurement precision for the two trials A and B, where A corresponds to a smooth harvesting technique while B corresponds to a more aggressive harvesting technique.

Studieled	Antal stammar	Standardavvikelse (M1-M2, mm)	Medeldifferens (M1-M2, mm)	Andel mätningar inom ± 4 mm från manuell kontroll (%)
A – fokus följsamhet	15	5,04	0,28	65,4
B – fokus matning	15	6,31	0,81	51,6
Differens B-A		+1,27	+0,49	-13,8

Standardavvikelsen beräknades även för de två mest förekommande diameterklasserna, 10–20 centimeter respektive 20–30 centimeter (tabell 8). Resultaten indikerar att körtekniken har större inverkan på mätprecisionen vid grövre stammar, vilket är logiskt då större krafter verkar på aggregatet vid upparbetning av en tyngre stam.

Tabell 8.
Standardavvikelse från manuell kontrollmätning för de två vanligaste diameterklasserna i de två försöksleden.

Table 8.
Standard deviation from manual control measurement for the two most common diameter classes in the two trials.

Studieled	Standardavvikelse per diameterklass (mm)	
	10–20 cm	20–30 cm
A – fokus följsamhet	4,86	4,70
B – fokus matning	5,53	5,99
Differens B-A	+0,67	+1,29

Sammanfattande diskussion och slutsatser

Vår studie visade på ett starkt, logiskt, samband *inom skördare* mellan mätprecisionen vid diametermätningen och tryckinställningarna för kvistknivar och matarvalsar. För gruppen av skördare som följdes indikerade sambandet att förändrade tryckinställningar skulle kunna medföra en 25-procentig förbättring av mätprecisionen. Däremot noterades inget motsvarande samband *mellan skördare*, vilket innebär att de tryckinställningar som är optimala med avseende på diametermätningen kan betraktas som unika för den enskilda skördaren. Att utveckla hjälpmedel för maskinförare och instruktörer att ställa in matarvals- och kvistknivstryck som ger en hög mätprecision för de enskilda skördarna är ett viktigt område för vidare studier.

Data från studien indikerade att det för skördare med mätning i främre kvistknivar fanns ett samband mellan det studerade stamhållningsmättet andel kap i planområde/stamhack och mätprecisionen vid diametermätningen utifrån manuell kontrollmätning. Andelen kap i planområde/stamhack skulle därmed potentiellt kunna användas som ett indirekt mått på mätprecisionen och tillsammans med data från manuella kontrollmätningar utgöra informationsbasen vid utveckling av hjälpmedel för inställning av kvistknivs- och matarvalstryck. Vår studie var dock avgränsad till ett skördaraggregat/styrssystem och det är angeläget att vidare studier utformas så de möjliggör analys av huruvida sambandet mellan stamhållning och mätprecision är giltigt över aggregattyp/styrssystem eller om separata samband måste upprättas inom aggregattyp.

Baserat på data från ett fältförsök visade vår studie att en följsam körstil hade en positiv påverkan på mätprecisionen i skördarens diametermätning och att inverkan var större för de grövre diameterklasserna. Vidare studier bör utformas så att de möjliggör identifiering av vilka arbetsmoment som orsakar skillnader. Sådan kunskap skulle vara användbar i utbildningssyfte men också för att utveckla tekniska lösningar som kompenserar för skillnader i körstil.

Avslutningsvis noterades inget uppenbart ogynnsamt samband mellan ökat tryck för matarvalsar och kvistknivar och produktivitetsrelaterade parametrar som genomsnittlig matningshastighet och bränsleförbrukning. Detta resultat var dock förknippade med en viss osäkerhet och det är angeläget att vidare studier genomförs inom detta område.

Referenser

- Andersson, M. 2004. Simulering av dimensionsmätare för skördare. Arbetsrapport 577. Skogforsk 14 s.
- Arlinger, J., Brunberg, T., Lundström, H. & Möller, J. 2014. Jämförelse av JD1170E och JD1470E i slutavverkning hos SCA Skog AB hösten 2013. Arbetsrapport 817. Skogforsk. 30 s.
- Arlinger, J., Brunberg, T., Lundström, H., Möller, J. & Nordström, M. 2016. Stor eller större – en jämförelse av två skördare i slutavverkning, Komatsu 931 och 951. Under publicering. Skogforsk.
- Arlinger, J. & Möller J.J. 2006. Kvalitetssäkring av skördarnas mätning. Resultat från Skogforsk, nr 20. 4 s.
- Arlinger, J., Nordström, M. & Möller, J.J. 2012. StanForD 2010. Modern kommunikation med skogsmaskiner – StanForD 2010. Arbetsrapport 784. Skogforsk.16 s.
- Björklund, N. Hannrup, B. & Jönsson, P. 2008. Effekter av förhöjt knivtryck i skördaraggregat på barkskadorna hos massaved samt följeffekter på produktionen av granbarkborrar. Arbetsrapport 668. Skogforsk. 34 s.
- SDC 2015. Instruktion för kvalitetssäkring av längd- och diametermätning med skördare. 2015–02–13. SDC:s instruktioner för virkesmätning.
- Möller, Johan J., Arlinger, J., Hannrup, B. & Jönsson, P. 2008. Virkesvärdestest 2006. Redogörelse 5. Skogforsk. 64 s.
- Nordström, M. & Hemmingsson, J. Håll måttet! 2015.Handledning. Skogforsk. 22 s.
- Nordström, M. & Möller, J.J. 2013. Kalibrering av skördarens mätsystem – En kartläggning av nuläge och utvecklingsbehov. Arbetsrapport 792. Skogforsk. 14 s.
- Nordström, M., Arlinger, J., Hannrup, B., Jonsson, R., Jönsson, P. & Möller, J.J. 2017. Virkesvärdestest 2016. Opublicerat. Skogforsk.

Personligt meddelande

- Hemmingsson, J. VMF Syd; 2016. Skördarrevisor inom kvalitetssäkringssystemet.
- Folkesson, U. Ponsse AB; 2016. Eftermarknadschef.

Tryckkurvor

Tabell 1.

Skördarlagens trädslagsberoende tryckkurvor inom diameterintervallet 0–400 millimeter för matarvalsar (MV), främre kvistknivar (FK) och bakre kvistknivar (BK) under de två referensperioderna samt procentuell förändring av trycken mellan perioderna 150801–151031 och 160314–160513. För FK2_1–3 anges tryckvärden för referensperioden 150801–151031 och perioden 160520–160616.

Skördarlag	Diameter (mm)	Trädslag	P1. 150801–151031 Tryck (bar)			P2. 160314–160513 Tryck (bar)			Förändring (%)		
			MV	FK	BK	MV	FK	BK	MV	FK	BK
MV1	0	Tall	110	90	61	110	90	61	0	0	0
MV1	100	Tall	110	70	61	110	70	61	0	0	0
MV1	200	Tall	112	75	73	112	75	73	0	0	0
MV1	300	Tall	130	92	95	130	92	95	0	0	0
MV1	400	Tall	135	126	126	135	126	126	0	0	0
MV1	0	Gran	106	90	61	106	90	61	0	0	0
MV1	100	Gran	107	70	61	107	70	61	0	0	0
MV1	200	Gran	116	65	73	116	65	73	0	0	0
MV1	300	Gran	138	96	95	138	96	95	0	0	0
MV1	400	Gran	154	132	126	154	132	126	0	0	0
MV2	0	Tall	110	110	85	110	90	75	0	-18	-13
MV2	100	Tall	110	90	85	120	79	75	9	-12	-13
MV2	200	Tall	110	90	85	134	79	75	22	-12	-13
MV2	300	Tall	134	99	99	145	95	89	8	-5	-11
MV2	400	Tall	142	126	126	155	120	112	9	-5	-11
MV2	0	Gran	110	110	85	110	90	85	0	-18	0
MV2	100	Gran	110	90	85	120	90	85	9	0	0
MV2	200	Gran	110	90	85	130	90	95	17	0	11
MV2	300	Gran	134	99	99	139	99	99	4	0	0
MV2	400	Gran	142	126	126	148	126	126	4	0	0
MV3	0	Tall	110	75	70	115	90	75	4	21	7
MV3	100	Tall	113	78	70	120	90	75	5	16	7
MV3	200	Tall	118	79	70	127	87	75	8	10	7
MV3	300	Tall	126	87	79	135	92	90	7	5	14
MV3	400	Tall	135	95	140	149	104	140	10	10	0
MV3	0	Gran	113	90	70	113	90	70	0	0	0
MV3	100	Gran	113	75	70	113	85	70	0	15	0
MV3	200	Gran	120	85	79	120	92	79	0	7	0
MV3	300	Gran	126	106	99	126	106	99	0	0	0
MV3	400	Gran	135	130	130	135	130	130	0	0	0

Fortsättning på tabell:

Skördarlag	Diameter (mm)	Trädslag	P1. 150801–151031 Tryck (bar)			P2. 160314–160513 Tryck (bar)			Förändring (%)		
			MV	FK	BK	MV	FK	BK	MV	FK	BK
MV4	0	Tall	73	56	48	115	99	69	57	78	43
MV4	100	Tall	83	59	59	123	89	72	48	52	23
MV4	200	Tall	113	65	66	132	88	84	17	35	27
MV4	300	Tall	130	96	93	140	101	101	8	5	8
MV4	400	Tall	144	130	132	146	130	145	1	0	10
MV4	0	Gran	73	56	48	116	103	69	58	84	45
MV4	100	Gran	83	59	58	125	93	72	50	58	24
MV4	200	Gran	113	65	65	134	91	84	18	39	28
MV4	300	Gran	130	96	92	140	104	101	8	8	10
MV4	400	Gran	143	130	131	147	136	145	3	4	11
FK1	0	Tall	113	115	75	85	115	89	-24	0	18
FK1	100	Tall	113	85	75	90	90	89	-20	5	18
FK1	200	Tall	117	79	75	101	90	89	-13	14	18
FK1	300	Tall	126	90	78	112	90	89	-11	0	13
FK1	400	Tall	132	115	89	135	115	98	3	0	10
FK1	0	Gran	113	115	70	85	115	89	-24	0	26
FK1	100	Gran	113	85	66	90	90	89	-20	5	34
FK1	200	Gran	117	79	66	101	90	89	-14	14	34
FK1	300	Gran	127	90	78	112	90	89	-12	0	13
FK1	400	Gran	132	107	105	135	107	98	2	0	-7
FK2	0	Tall	110	112	70	110	115	70	0	2	0
FK2	100	Tall	115	103	70	115	110	70	0	7	0
FK2	200	Tall	120	87	70	125	90	70	4	3	0
FK2	300	Tall	125	85	90	135	85	90	8	0	0
FK2	400	Tall	133	95	115	144	95	115	8	0	0
FK2	0	Gran	110	110	70	110	110	70	0	0	0
FK2	100	Gran	110	95	70	115	95	70	4	0	0
FK2	200	Gran	125	90	70	125	90	70	0	0	0
FK2	300	Gran	137	90	95	135	85	95	-2	-5	0
FK2	400	Gran	142	106	123	144	99	123	1	-6	0
FK2_1-3	0	Tall	110	112	70	115	92	76	4	-18	8
FK2_1-3	100	Tall	115	103	70	115	98	79	0	-4	14
FK2_1-3	200	Tall	120	87	70	125	109	84	4	25	20
FK2_1-3	300	Tall	125	85	90	135	117	93	8	37	4
FK2_1-3	400	Tall	133	95	115	145	137	124	9	44	8
FK2_1-3	0	Gran	110	110	70	115	115	99	4	4	42
FK2_1-3	100	Gran	110	95	70	120	120	99	9	26	42
FK2_1-3	200	Gran	125	90	70	130	130	110	3	45	58
FK2_1-3	300	Gran	137	90	95	140	138	120	2	54	26
FK2_1-3	400	Gran	142	106	123	150	147	144	5	39	18

Fortsättning på tabell:

Skördarlag	Diameter (mm)	Trädslag	P1. 150801-151031 Tryck (bar)			P2. 160314-160513 Tryck (bar)			Förändring (%)		
			MV	FK	BK	MV	FK	BK	MV	FK	BK
FK3	0	Tall	99	110	106	99	110	106	0	0	0
FK3	100	Tall	105	95	81	105	95	81	0	0	0
FK3	200	Tall	110	82	75	110	82	75	0	0	0
FK3	300	Tall	129	95	96	129	95	96	0	0	0
FK3	400	Tall	137	126	120	137	126	120	0	0	0
FK3	0	Gran	106	110	106	106	110	106	0	0	0
FK3	100	Gran	111	95	81	111	95	81	0	0	0
FK3	200	Gran	116	82	75	116	82	75	0	0	0
FK3	300	Gran	131	95	92	131	95	92	0	0	0
FK3	400	Gran	140	126	112	140	126	112	0	0	0
FK4	0	Tall	102	85	65	110	85	75	8	0	14
FK4	100	Tall	102	75	65	112	82	75	9	10	14
FK4	200	Tall	110	75	75	118	90	85	7	21	15
FK4	300	Tall	120	95	106	125	106	106	4	11	0
FK4	400	Tall	120	140	141	130	135	141	8	-3	0
FK4	0	Gran	102	85	65	110	85	79	8	0	21
FK4	100	Gran	102	75	65	112	85	79	9	15	21
FK4	200	Gran	110	75	75	118	93	85	7	25	15
FK4	300	Gran	120	95	106	125	120	106	4	26	0
FK4	400	Gran	120	140	141	130	140	141	8	0	0

Bilaga 2.

Nyckeltal från den manuella referensmätningen av diameter

Period 1: 150801–151031

Skördarlag	Tall					Gran					Totalt				
	Diameter. Andel obs inom +/-4 mm	Diameter. Medel-differens (mm)	Diameter. Stdavv (mm)	Antal obs	Antal stammar	Diameter. Andel obs inom +/-4 mm	Diameter. Medel-differens (mm)	Diameter. Stdavv (mm)	Antal obs	Antal stammar	Diameter. Andel obs inom +/-4 mm	Diameter. Medel-differens (mm)	Diameter. Stdavv (mm)	Antal obs	Antal stammar
Namn															
MV3	52,4	2,3	5,4	690	40	75,5	0,4	4,0	1006	58	66,1	1,2	4,6	1696	98
FK2	63,7	1,0	5,5	1211	76	62,7	0,0	5,5	599	39	63,4	0,6	5,5	1810	115
MV2	56,5	-0,3	6,0	888	51	62,9	0,2	5,1	652	40	59,2	-0,1	5,6	1540	91
FK3	62,5	1,4	5,7	283	21	82,4	0,8	3,7	1437	109	79,2	0,9	4,1	1720	130
MV1	52,9	-1,5	6,1	140	8	61,4	0,0	5,3	617	38	59,8	-0,3	5,4	757	46
MV4	43,9	0,4	7,7	57	4	53,7	1,2	6,7	960	50	53,1	1,1	6,8	1017	54
FK4	34,1	-5,2	7,8	164	9	63,4	0,5	5,4	856	70	58,7	-0,1	5,8	1020	79
FK1	76,6	-0,3	3,9	1107	57	80,1	1,4	3,0	1560	73	78,7	0,6	3,4	2667	130
Medel:	55,3	-0,3	6,0	568	33	67,8	0,6	4,8	961	60	64,8	0,5	5,1	1528	93

Fortsättning på tabeller:

Period 2: 160314–160515

Maskinlag	Tall					Gran					Totalt				
	Diameter. Andel obs inom +/-4 mm	Diameter. Medel-differens (mm)	Diameter. Stdavv (mm)	Antal obs	Antal stammar	Diameter. Andel obs inom +/-4 mm	Diameter. Medel-differens (mm)	Diameter. Stdavv (mm)	Antal obs	Antal stammar	Diameter. Andel obs inom +/-4 mm	Diameter. Medel-differens (mm)	Diameter. Stdavv (mm)	Antal obs	Antal stammar
Namn															
MV3	57,1	-0,4	5,6	275	15	66,1	-0,8	4,7	937	51	64,0	-0,7	4,9	1212	66
FK2	64,1	2,9	6,3	39	3	68,6	2,2	4,5	239	14	68,0	2,3	4,8	278	17
MV2	58,9	0,6	6,1	521	38	68,9	-0,3	4,6	396	30	63,2	0,2	5,5	917	68
FK3	67,8	-1,1	4,7	724	51	82,0	0,1	3,7	517	41	73,7	-0,6	4,4	1241	92
MV1	80,0	-1,7	3,8	10	1	73,8	-0,2	4,5	244	18	74,0	-0,2	4,5	254	19
MV4	42,6	1,7	6,0	47	3	62,2	0,3	5,6	569	34	60,7	0,4	5,6	616	37
FK4	54,5	2,3	5,3	44	4	61,8	1,5	5,5	327	31	60,9	1,6	5,5	371	35
FK1	70,7	-0,4	4,3	174	8	81,5	-0,9	3,6	416	16	78,3	-0,8	3,8	590	24
Medel:	62,0	0,5	5,3	229	15	70,6	0,2	4,6	456	29	67,9	0,3	4,9	685	45

Period 3: 160520–160616

Maskinlag	Tall					Gran					Totalt				
	Diameter. Andel obs inom +/-4 mm	Diameter. Medel-differens, mm	Diameter. Stdavv (mm)	Antal obs	Antal stammar	Diameter. Andel obs inom +/-4 mm	Diameter. Medel-differens (mm)	Diameter. Stdavv (mm)	Antal obs	Antal stammar	Diameter. Andel obs inom +/-4 mm	Diameter. Medel-differens (mm)	Diameter. Stdavv (mm)	Antal obs	Antal stammar
Namn															
FK2	74,6	1,6	4,2	224	15	78,0	0,6	4,2	277	17	76,5	1,0	4,2	501	32

Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2016

År 2016

- Nr 892 Ågren, K., Hannrup, B., Jonsson, R., Jönsson, P., Lundström, H. och Nordström, M. Utvärdering av dimensionsmätning och förekomst av kapsprickor vid avverkning med Komatsu X19. – Evaluation of measurement quality and frequency of bucking splits in harvesting with the Komatsu X19 Harwarder. 21 s.
- Nr 893 Ågren, K., Möller, J. J. och Bhuiyan, N. 2016. Utveckling av en standardiserad metod för kalibrering av volymsbestämning vid avverkning med flerträdshalterande skördaraggregat. – Development of a standardised method for calibrating volume measurements when using a multi-tree handling harvester head. 27 s.
- Nr 894 Almqvist, C. & Rosenberg, O. 2016. Bekämpning av grankotterost (*Thekopsora areolata*) med fungicider – Försök utförda 2014 och 2015. – Control of cherry spruce rust infection (*Thekopsora areolata*) by use of fungicides – Trials performed in 2014 and 2015. 10 s.
- Nr 895 Westin, J., Helmersson, A. & Stener, L.-G. 2014. Förädling av lärk i Sverige. – Kunskapsläge och material. Genetic improvement of larch in Sweden – knowledge status and seed materias. 55 s.
- Nr 896 Mohtashami, S., Nordlund, S., Krook, M., Bergkvist, I., Ring, E. & Högbom, L. 2016. Körskador vid slutavverkning – en inventeringsstudie i Mälardalen. 16 s.
- Nr 897 von Hofsten, H. & Eliasson, L. 2016. Skotning av grot och rundved med en kombiskotare eller med två dedikerade skotare. 8 s.
- Nr 898 Rytter, L. & Mc Carthy, R. 2016. – Uthållig produktion av hybridasp efter skörd – Slutrapport 2016 för Energimyndighetens projekt 30346. - Sustainable production of hybrid aspen after harvest – Final Report 2016 from Swedish Energy Agency Project 30346.
- Nr 899 Bhuiyan, N., Möller, J.J., Hannrup, B. & Arlinger, J. 2016. Automatisk gallringsuppföljning. – Arealberäkning samt registrering av kranvinkel för identifiering av stickvägsträd och beräkning av gallringskvot – Automatic follow-up of thinning- Stand area estimation and use of crane angle data to identify strip road trees and calculate thinning quotient.. 47 s.
- Nr 900 Pettersson, F. 2016. Effects of type of thinning and strip road distance on timber production and economy in the Scots pine field experiment at Kolfallet. Results after two thinnings and a 20-year study period.
- Nr 901 Eliasson, L., Mohtasami, S. & Eriksson, A. 2016. Analys av ett högproduktivt flissystem – Analysis of factors affecting a high productive chip supply system. 20 s.
- Nr 902 Enström, J., Asmomarp, V., Davidsson, A., Johansson, F., Jönsson, P. & Mohtashami, S. 2016. Transportsystemet Inlandsbanan – The Inlandsbanan transport system. 50 s.
- Nr 903 Klingberg, A., Persson, T. & Sundblad, L.G. 2016. Projektrapport – Fröskörd från tallfröplantage T2 Alvik – Effekt av inkorsning på planteringsresultatet i fält (projekt nr 244). – Project report Harvests from the T2 Alvik orchard – Effect of cross-pollination on operational planting outcome.
- Nr 904 Friberg, G. & Bergkvist, I. 2016. Så påverkar arbetsrutiner och markfuktighetskartor körskador i skogsbruket – How operational procedures and depth-to-water maps can reduce damage on soil and water and rutting in the Swedish forestry 28 s.
- Nr 905 Berlin, M. & Friberg, G. 2016. Proveniensval av Svartgran i Mellansverige. – Provenance choice of black spruce in central Sweden.. 22 s.

- Nr 906 Grönlund, Ö. 2016. Kontrollmätningens utformning vid chaufförens travmätning. – Quality control procedure for stack measurement by truck drivers. 16 s.
- Nr 907 Björheden, R. 2016. Mekaniserad avverkning av grova lövträd - en litteraturstudie. – Mechanised harvesting of large-size hardwood trees – a literature study. 26 s.
- Nr 908 Bhuiyan, N., Hannrup, B., Nordström, M. & Larsolle, A. 2016. Beslutsstöd för stubbskörd.– Utveckling av ett prototypprogram för snabbare implementering i skogsbruket. – Decision-support tool for stump harvest. – Development of prototype software for faster implementation in forestry. 22 s.
- Nr 909 Brunberg, T. & Lundström, H. 2016. Tidsåtgång och bränsleåtgång vid användning av sortimentsgripen 2014-Evaluation of assortment grapple 2014 in terms of processing time and fuel consumption. 19 s.
- Nr 910 von Hofsten, H., Eliasson, L., Lundström, H. & Granlund, P. 2016. Prestation och bränsleförbrukning för två stora trumhuggar avsedda för flisning på terminaler. – Production and fuel consumption for two large drum chippers. 14 s.
- Nr 911 Jonsson, R., Jönsson, H. & Lundström, H. 2016. Prestation och kostnader för slutavverkningsdrivare Komatsu X19 harwarder med snabbfäste. – Performance and cost in final felling for Komatsu X19. Harwarder with quick hitch. 40 s.
- Nr 912 Jonsson, R., Jönsson, P., Lundström, H. & Manner J. 2016. Prestation och kostnader för drivaren Komatsu X19 och tvåmaskinsystem med Komatsu 941 och 895 i grov slutavverkning – Performance and costs for the Komatsu X19 harwarder compared to Komatsu 941/895 harvester/forwarder in heavy-timber final felling. 38 s.
- Nr 913 Jönsson, P., Andersson, M., Hannrup, P., Henriksen, F. & Högdahl, A. 2016. Avverkningskapacitet för sågkedjor – en jämförande studie. – Cutting capacity of saw chains – a comparative study. 38 s.
- Nr 914 Skutin, S.G. & Bergqvist, M. 2016. Slutrapport – Rapport Bergtäkt. – Potentialer till kortare ledtider i miljöprövningen. – Final report of the 'Rock Quarry' project. Potential to shorten lead times in environmental assessment. 44 s.
- Nr 915 Ottosson, P., Andersson, D. & Fridh, L. 2016. Radarteknik för fukthaltsmätning – en förstudie. – Radar technology for measuring moisture content – a preliminary study. 23 s.
- Nr 916 Manner, J., Björheden, R., Jonsson, R., Jönsson, P. & Lundström, H. 2016. Prestation och drivningskostnad för drivarprototypen Komatsu X19 jämfört med ett konventionellt tvåmaskinsystem. – Productivity and logging costs of the harwarder prototype Komatsu X19 and a conventional CTL system. 27 s.
- Nr 917 Bergqvist, M., Björheden, R. & Eliasson, L. 2016. Kompakteringseffekter på skogsbilvägar. – Effect of compaction on forest roads. 24 s.
- Nr 918 Jönsson, P., Andersson, M., Hannrup, B., Henriksen, F. & Högdahl, A. 2016. Cutting capacity of saw chains – a comparative study. – Avverkningskapacitet för sågkedjor – en jämförande studie. Ss. 38.
- Nr 919 Asmoarp, V., Bergqvist, M., Frisk, M., Flisberg, Patrik & Rönnqvist Mikael. VägRust på SCA. En analys av vägupprustningsbehov på SCA Skog AB:s tre sydliga förvaltningar. – Decreased cost of logistics with RoadOpt. An analysis of road upgrading needs on three southern holdings at SCA Skog AB. 35 s.

År 2017

- Nr 920 Bergqvist, M., Bradley, A., Björheden, R. & Eliasson, L. 2017. Validering av STP (Surfacing Thickness Program) för svenska förhållanden – Validation of the Surfacing Thickness Program (STP) in Swedish conditions. 40 s.
- Nr 921 Eriksson, B. & Sääf, M. 2017. Branschanalys-Ekonomiska prestationer i entreprenadskogsbruket. – Sector analysis: economic performance in contractor forestry. 31 s.
- Nr 922 Söderberg, J., Willén, E. & Bohlin, J. 2017. Gallringspunkter från fjärranalys. – Identification of thinning needs using remote sensing. 14 s.
- Nr 923 Willén, E. & Mohtashami, S. 2017. Kartering av fornminnen i skogen med fjärranalys. – Identifying cultural heritage sites in forest with remote sensing. 32 s.
- Nr 924 Mörk, A., Englund, M. och Brunberg, T. 2017. Utvärdering av sortimentsgripen i simulator.
- Nr 925 Mc Carthy, R., Johansson, F. & Bergqvist, I. 2017. Högläggning med tre- och fyra-uddigt rivhjul. 15 s.
- Nr 926 Sonesson, J., Eliasson, L., Jacobson, S., Wallgren, M., Weslien, J. & Willhelmsson, L. 2017. Hyggesfritt skogsbruk på landskapsnivå.
- Nr 927 Asmoarp, V. Davidsson, A., Flisberg, P. & Palmér Carl Henrik. 2017. Skogsbrukets möjlighet att utnyttja föreslagna BK4-vägar för 74-tonsfordon. – Evaluation of forestry sector potential to operate 74-tonne vehicles on the proposed BK4 roads. 28 s.
- Nr 928 Bergqvist, I. & Friberg, G. 2017. Lutningsindex – beslutsstöd vid markberedning. – Slope index-Decision support tool for scarification. 28 s.
- Nr 929 Arlinger, J., Möller, J.J., Eriksson, I. & Bhuiyan, N. 2017. Forestand – skördardata. – Standardisering av skördar-databaserade beskrivningar av uttag och kvarvarande skog efter gallring.
- Nr 930 Willén, E. 2017. Turordnings-planering – Sequencing in operational planning.
- Nr 931 Eliasson, L. & von Hofsten, H. 2017. Prestation och bränsleförbrukning för en stor mobil flishugg. – Albach 2000 Diamant. – Productivity and fuel consumption of a large mobile wood chipper – Albach 2000 Diamant. 16 s.
- Nr 932 Englund, M., Mörk, A., Andersson, H. & Manner, J. 2017. Delautomatiserad skotarkran. – Utveckling och utvärdering i simulator. – Semi-automated forwarder crane. – Development and evaluation in a simulator. 28 s.
- Nr 933 Jonsson, R., Mohtashami, S., Eliasson, L., Jönsson, P. och Ring, E. 2017. Risning av stickvägar i slutavverkning – Effekter på spårbildning, skotarens bränsleåtgång, körhastighet, helkroppsvibrationer och skördarprestation. – The effect of slash reinforcement of strip roads on rutting, forwarder's fuel consumption, driving speed, whole body vibrations and harvester performance. 21 s.
- Nr 934 Bjurholm, A., Jansson, G., Thierfelder, T. & Nordström, M. 2017. Utvärdering av metoder för mätning av rundved i trave -en statistisk och ekonomisk analys. – Evaluation of methods for measuring roundwood in stacks – a statistical and economical analysis 67 s.
- Nr 935 Enström, J., Asmoarp, V., Bergqvist, M. & Davidsson, A. 2017. Förstudie för projektet Pilotimplementering av 74 ton. - Preliminary study for the Pilot Implementation of 74-tonne Vehicles project, commissioned by the Swedish Transport Administration. 50 s.
- Nr 936 Eliasson, L. & von Hosten, H. 2017. Acceleratorhastighetens effekt på Prestation, bränsleförbrukning och fliskvalitet för en större trumhugg – Bruks 1006. – Effect of accelerator speed on productivity, fuel consumption and chip quality for a large drum chipper – Bruks 1006. 12 s.

- Nr 937 Söderberg, Jo., Willén, E., Möller, J.J., Arlinger, J. och Bhuiyan, N. 2017. Utvärdering av utbytesprognoser med skogliga laserskattningar och skördardata – resultat från tre fallstudier. 61 s.
- Nr 938 Högberg, K.-A. 2017. Effekter av förökningsmetod på plantors tidiga utveckling – somatisk embryogenes på gran och sticklingförökning av tall. – Effects of propagation method on early development of plants – somatic embryogenesis for spruce and cutting propagation for pine. 15 s.
- Nr 939 von Hofsten, H. 2017. Transportekonomi vid massavedstransport med olika antal travar på 74 tons virkesbil -Teoretisk analys.
- Nr 940 Nordström, M. & Hannrup, B.- 2017. Förbättrad diametermätning i skördare – en pilotstudie med åtta Ponsse slutavverkningsskördare. – Improved diameter measurement in harvesters: A pilot study using eight Ponsse harvesters for final felling. 54 s.
- Nr 941 Brunberg, T., Johansson, F. och Löfroth C. 2017. Dieselförbrukningen hos skogslastbilar under 2016.

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

Sex forskningsprogram och processer:

- Driftsystem
- Förädling
- Skogsskötsel
- Värdekedjor
- Digitalisering
- Skogliga samhällsnyttor

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. 940–2017



www.skogforsk.se