

Analys av faktorer som påverkar noggrannheten vid skördaraggreatets diametermätning

*Analysis of factors affecting harvester-head diameter
measurement accuracy*

Elisabet Eriksson



Foto: Elisabet Eriksson

Examensarbete • 30 hp

Jägmästarprogrammet

Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, 2018:3

Umeå 2018

Analys av faktorer som påverkar noggrannheten vid skördaraggregatets diamettermätning

Analysis of factors affecting harvester-head diameter measurement accuracy

Elisabet Eriksson

Handledare: Ola Lindroos, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Examinator: Tomas Nordfjell, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Omfattning: 30 hp

Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, A2E

Kurstitel: Master thesis in Forest Management at the Department of Forest Biomaterials and Technology

Kurskod: EX0832

Program/utbildning: Jägmästarprogrammet

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2018

Serienamn: Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, 2018:3

Delnummer i serien: 2018:3

Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: skördarkalibrering, nyckeltal, kontrollfiler, träffprocent, trepunktsmätning

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för skogsvetenskap

Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Sammanfattning

Skogsindustrin har en betydande roll för Sverige då den står för 9-12 % av förädlingsvärdet och bidrar till en ekonomi baserad på förnyelsebara råvaror. För att nyttja råvaran på bästa sätt som byggmaterial ställs det krav på att skördaren apterar stammarna till rätt dimensioner. Problemet med skördaraggregatets mätning är att den inte alltid är korrekt och för att förbättra mätnoggrannheten kalibreras mätutrustningen av skördarföraren.

Målet med studien var att ge en vägledning om hur olika faktorer påverkar diameternoggrannheten i skördaraggregat. Syftet var att undersöka om faktorerna antal griparmar, basmaskinstorlek eller dominerande avverkningsform hade någon inverkan på diameternoggrannheten hos skördaraggregatmodeller med trepunktsmätning i de övre kvistknivarna.

Till studien användes automatiskt registrerade filer med skördarens mätdata samt skördarförarens kontrollmättningsdata från 4 skördaraggregatmodeller, med 5 olika skördaraggregat av varje modell. Från en databas för uppföljningsdata laddades 68 757 mätvärden ner från en period på ett år. Analysen av nyckeltalen och faktorerna genomfördes som envägs-variansanalys med Tukeys post-hoc test för de faktorer med fler än två nivåer.

Resultatet visade att alla faktorer påverkade mätnoggrannheten i diameternoggrannheten signifikant i medelvärdet för differensen (p-värde $< 0,01$), men faktorerna förklarade bara en mycket liten del av den observerade variationen ($R\text{-sq} < 1\%$). Alla skördaraggregatmodeller underskattade i genomsnitt diametern med 0,75 mm jämfört med skördarförarens kontrollmätning, men skillnaderna var små. Träffprocenten hos de olika skördaraggregatmodellerna varierade mellan 71-84 %. Träffprocenten var högre för faktorerna 5 griparmar, gallring och basmaskiner på 15-20 ton.

Trots de utmanande förutsättningarna vid skördarmätning var skillnaderna mellan de olika skördaraggregatmodellernas diameternoggrannhet väldigt små.

Nyckelord: skördarkalibrering, nyckeltal, kontrollfiler, träffprocent, trepunktsmätning

Abstract

The forest industry accounts for 9-12 % of processing value in Sweden. In order to utilize the raw material in the best way, it is required that the timber is bucked in correct dimensions by the harvester. The problem with harvester-head measurement is that they are not always correct. To improve the measurement accuracy, the measurement equipment is calibrated by the harvester operator.

The objective of this study was to give guidance of how different factors affect the diameter measurement accuracy. The purpose was to investigate whether the factors number of gripping arms, base machine size or dominating harvesting method affected the diameter measurement accuracy of harvester-heads with three point measuring in the upper delimiting-knives.

The study was based on automatically registered stem measurements files from both harvester-head diameter measurement and the control measurements by the harvester operator. Four different harvester-head models were examined, with five harvester-heads of each model. From a database with follow-up data, 68 757 diameter measurements were downloaded covering a period of one year. To examine the impact of different factors and key-figures, one-way ANOVAs were conducted on all factors. For factors with more than two levels, Tukey's post-hoc test was used to analyse pairwise differences.

Results show that all factors significantly affected the average measurement (p -value $< 0,01$), but the factors only explained a small part of the observed variation (R -sq < 1 %). Every harvester-head model included in the study underestimated the diameter, with on average 0,75 mm, compared to control measurement by the harvester operator. The hit percentage (i.e. the proportion of measurements within the generally accepted accuracy span of ± 4 mm) for the different harvester-head models varied between 71-84 %. The hit percentage was higher for the factors 5 gripping arms, thinning and base machines on 15-20 ton.

Despite the challenging conditions for measuring with a harvester, the differences between the harvester-head models diameter measurement accuracy were very small.

Keywords: harvester calibration, key figures, control files, bucking, three point measuring

Förord

Det här examensarbetet omfattar 30 högskolepoäng och har skrivits under Jägmästarprogrammet, Sveriges Lantbruksuniversitet i Umeå (SLU), för institutionen Skogens Biomaterial och Teknologi (SBT). Arbetet utfördes på uppdrag av SCA Skog, Sundsvall.

Jag vill tacka min handledare Ola Lindroos för mycket bra konstruktiv kritik och hjälp under arbetets gång! Jag vill även tacka Maria Nordström och John Arlinger, Skogforsk, för hjälpen vid arbetets början, Anders Muszta för hjälp med statistiken, Björn Färnstrand, SCA, för hjälpen med uppföljningsdatat och Mattias Eriksson, SCA, som initierade examensarbetet.

Det har varit ett intressant och lärorikt examensarbete som belyser behovet av fler studier inom området.

Innehållsförteckning

1	Inledning	5
1.1	Bakgrund	5
1.2	Skördaraggregat	6
1.2.1	Teknik	6
1.2.2	Diametermätning	7
1.2.3	Mätnoggrannhet	9
1.2.4	Kalibrering av mätutrustning	10
1.3	Mål och syfte	11
2	Material och metod	12
2.1	Data	12
2.1.1	Skördaraggregat	12
2.1.2	Kontrollfiler	14
2.2	Statistisk analys	14
2.2.1	Nyckeltal	16
2.2.2	Analys av påverkande faktorer	16
3	Resultat	17
3.1	Mätnoggrannhet	17
3.2	Påverkande faktorerers inverkan på mätnoggrannheten	19
4	Diskussion	22
4.1	Resultat	22
4.2	Material och metod	24
4.2.1	Skördaraggregat	24
4.2.2	Data	24
4.3	Styrkor och svagheter i studien	25
4.4	Fortsatt forskning inom området	26
4.5	Felkällor	26
4.6	Slutsats	27
5	Referenser	28
	Personlig kommunikation	30
	Bilaga 1	31

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Av Sveriges industrier står skogsindustrin för 9-12 % av förädlingsvärde, export, omsättning och sysselsättning i landet. På den internationella marknaden är Sveriges skogsindustri tredje största exportören i sin kategori (Larsson & Kinwall, u.å.). Det här innebär att skogsindustrin utgör en betydande del av Sveriges samhällsekonomi och bidrar till en ekonomi baserad på förnyelsebara råvaror istället för fossila (SkogsSverige, u.å.). Det är särskilt tydligt vid byggnationer, där trä är det enda förnyelsebara byggmaterialet (Bergkvist & Fröbel, 2013).

Trä har länge använts som byggmaterial, mest till mindre bostadshus. Men, i och med en större miljömedvetenhet har trä börjat användas i större byggnader som exempelvis flervåningshus (Bergkvist & Fröbel, 2013). För att virket på bästa sätt ska kunna användas som byggmaterial ställs det krav på aptering till rätt dimensioner vid avverkning så att stockarna passar sågverkens behov (Wilhelmsson & Arlinger, 1997). För att skördarföraren vid avverkning ska veta vilka dimensioner stammen lämpligast apteras till används dimensionsdifferentierade prislistor som baseras på industrins efterfrågan. Prislistan anger vilka virkessortiment som ger mest betalt, vilket också är de sortiment som industrin efterfrågar. Skördaren mäter diameter och längd kontinuerligt längs varje stam vilket gör det möjligt att aptera virket i rätt dimensioner (Uusitalo, 2010). Den optimala apteringspunkten, det vill säga punkten där stockens dimensioner ger det maximala virkesvärdet, beräknas av apteringsdatorn utifrån stockens diameter och avsmalning. En skördarförare kan även manuellt välja apteringspunkt men det ger generellt ett lägre virkesvärde jämfört med automatisk aptering (Bowers, 1998).

För att apteringsdatorns beräkning av virkesvärdet ska vara tillförlitlig krävs det att mätnoggrannheten i skördaraggregaten är hög (Wilhelmsson & Arlinger, 1997). Om skördarmätningarna är felaktiga ger det en felaktig aptering av stocken. Hur stor

värdeförlusten blir utav felaktiga mätvärden varierar men det finns exempel där värdeförlusterna uppgår till 23 % av det möjliga virkesvärdet (Marshall et al., 2006). Kalibrering av mätutrustningen minskar risken för felmätningar och därmed också värdeförlusterna (Nieuwenhuis & Dooley, 2013).

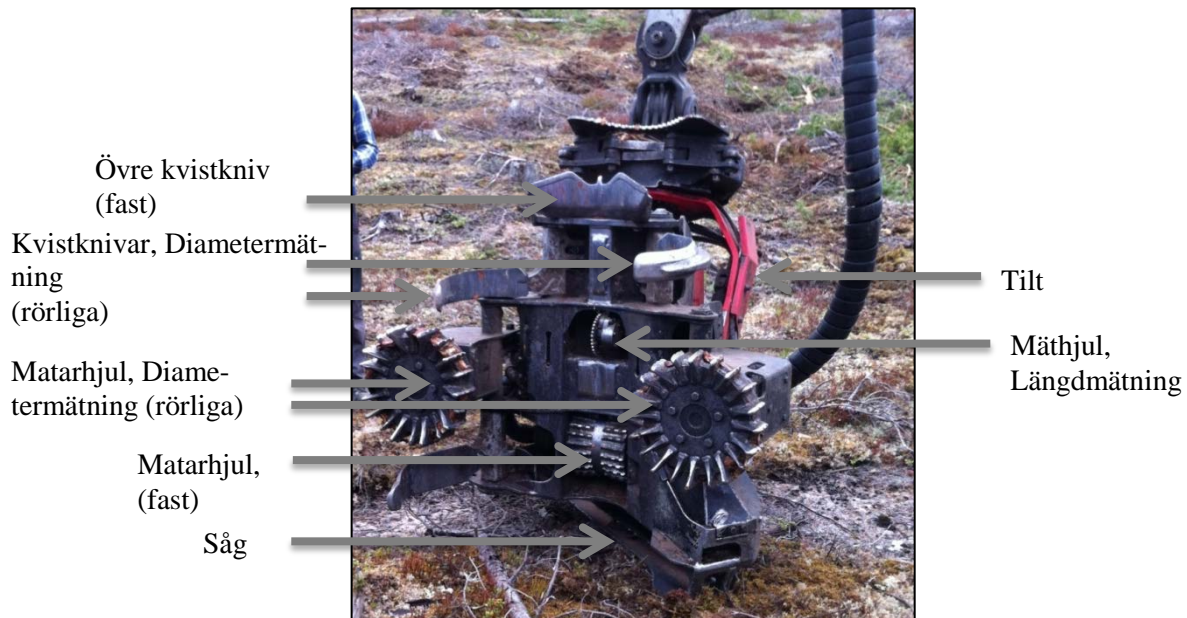
Kalibrering av skördaraggregat innebär att skördarföraren manuellt kontrollmäter en stock som skördaraggregatet precis har mätt. Baserat på kontrollmätningen justeras sedan mätutrustningen i skördaraggregatet, så att det skall mäta likadant som kontrollmätningen (Nordström & Möller, 2013). Därigenom kan också skördarförarens manuella kontrollmätning påverka mätresultatet vid kalibrering, eftersom en felaktig kontrollmätning då ger en felaktig justering. Ett exempel på svårigheten för den manuella diametermätningen är att stammens tvärsnitt ofta är oval och inte cirkulär, vilket innebär att mätresultatet kan skilja sig beroende på vilken sida stocken klavas. För att få till en vettig kalibrering måste skördarföraren därför kontrollmäta stocken från samma sida som skördaren (Strandegard, 2009).

1.2 Skördaraggregat

1.2.1 Teknik

I Sverige är den dominerande drivningsmetoden kortvirkesmetoden (Nordfjell et al., 2010) med tvåmaskinsystemet skördare-skotare (Häggström et al., 2013). Ett konventionellt nordiskt skördaraggregat till en engreppsskördare för gallring och slutavverkning har ett sågsvärd med kedja för att kapa trädet från stubben vid fällning. För att upparbetning av stammen ska vara möjligt har skördaraggregatet matarhjul och kvistknivar monterat på griparmar som håller tag om trädstammen när det fälls och därefter bär upp stammen när trädet kvistas och apteras. Upparbetning av stammen sker horisontellt och för att det ska vara möjligt har skördaraggregatet en tiltfunktion som frikopplar skördaraggregatet så att det kan följa med trädet vid fällningen. Matarhjulen driver stammen framåt genom skördaraggregatet och stammen kvistas när grenarna matas förbi kvistknivarna allt eftersom upparbetningen pågår. Skördaraggregat har två rörliga yttre matarhjul monterat på griparmar och 1-2 matarhjul monterat i bröstet på aggregatet. Det finns rörliga kvistknivar med griparmar och en fast kvistkniv monterat i övre delen av skördaraggregatet. En del skördaraggregat har även en fast kvistkniv i den nedre delen av skördaraggregatet (Uusitalo, 2010).

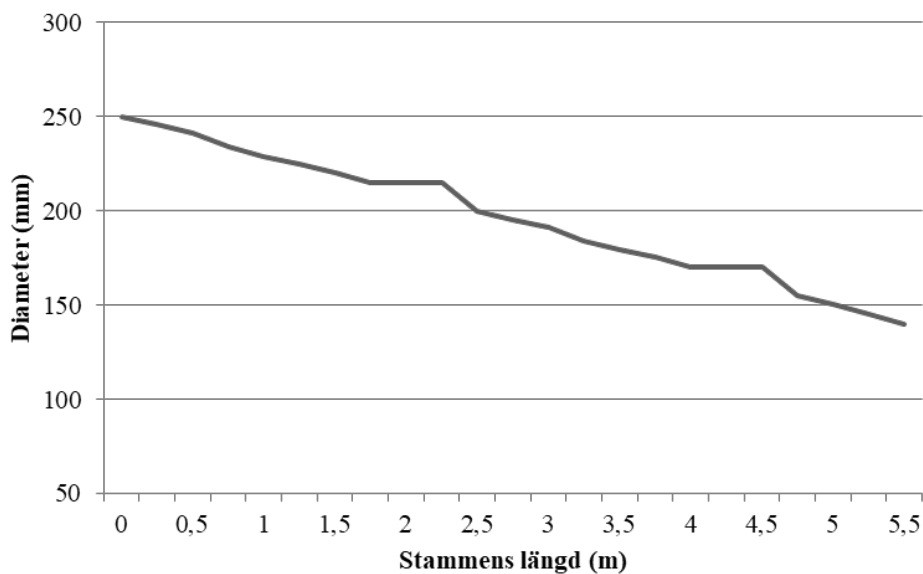
Både kvistknivarna och matarhjulen som är monterade på griparmar ansetts med ett visst tryck mot stammen för att förbättra stamhållningen. Stamhållningen är viktig för att ju bättre skördaraggregatet kan bära upp stammen desto bättre mätvärden genereras av mätutrustningen. En god stamhållning är en förutsättning för att skördaren ska mäta noggrant (Nordström & Hannrup, 2017).



Figur 1. Engreppsaggregat för skördare. Foto: Elisabet Eriksson
Figure 1. Single-grip harvester head.

1.2.2 Diametermätning

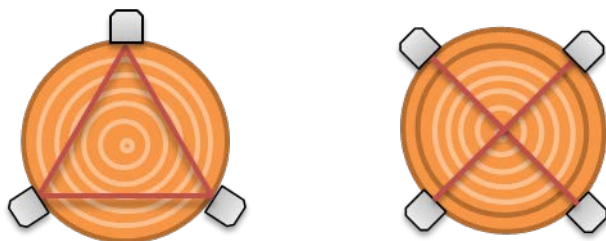
Stockens diameter mäts med en vinkelpotentiometer som finns monterat i kvistknivarna och/eller matarhjulen (figur 1). En vinkelpotentiometer är en elektrisk resistor som med hjälp av resistansen tar fram stockens diameter på bark (Uusitalo, 2010). Enkelt sagt omvandlar vinkelpotentiometern kvistknivanas vinkel till en utspänning (resistans) som är proportionell mot stamdiametern (Berg, 1992). För att diametermättet ska vara så korrekt som möjligt kalibreras och rensas värdena för att ta bort felaktiga data (Uusitalo, 2010). Om vinkelpotentiometern skulle indikera att diametern ökar när stammen matas från rot till toppändan av stocken, registreras inte detta värde utan diametern hålls konstant tills den sjunker igen. I en mätprofil av en stock bildar det så kallade planområden (figur 2). Exempelvis kvistbulor och kvistvarv kan orsaka att diametern ökar längs stammen istället för att sjunka (Nordström & Möller, 2013).



Figur 2. Mätprofil av en stock med planområden markerade med pilar.
Figure 2. Measure-profile of a log with plane areas marked with arrows.

Det finns två olika sätt att mäta diametern på stocken med den tekniken; triangulering och fyrpunktsmätning. Triangulering innebär tre mätpunkter i alltså tre mätriktningar (Nordström & Möller, 2013). Vid triangulering används två diame-
 tergivare monterat en i vardera kvistkniv eller i de yttre matarhjulen. Den tredje
 punkten är avståndet till den fasta punkten mot bröstet i aggregatet. På så vis beräk-
 nas avståndet som ett medel med en cirkel som går genom de tre punkterna (figur
 3)(Nordström, 2017).

Fyrpunktsmätning har fyra mätpunkter vilket innebär två mätriktningar (Nord-
 ström & Möller, 2013). Mätriktningarna är 90° i förhållande till varandra och ett
 medelvärde från de två registrerande måtten används som stockens diameter (figur
 3)(Wilhelmsson & Arlinger, 1997). Det kan liknas vid korsklavning med en klave
 då stockens diameter mäts i två vinkelräta mått mot varandra som ger en genom-
 snittlig diameter (Håkansson, 2000). I själva skördaraggregatet sitter det två diame-
 tergivare i matarhjulen och en tredje givare i den nedre kvistkniven. Från de mät-
 värden som matarhjulen och den nedre kvistkniven registrerar beräknas ett medel
 som blir diametern för stocken (LogMax, u.å.).



Figur 3. Triangulering till vänster och fyrpunktsmätning till höger. Bilden illustrerar stocken i tvärsnitt vid diametermätning i ett skördaraggregat.

Illustration: Elisabet Eriksson

Figure 3. *Measuring of diameter with a harvester-head, triangulation to the left and measuring with four measuring points to the right. The figure illustrates a cross section of a log when processed in a harvester head.*

1.2.3 Mätnoggrannhet

Den mätnoggrannhet som ett skördaraggregat har anges med nyckeltalen andelen mätningar inom ± 4 mm (träffprocent), standardavvikelse och systematisk avvikelse. Nyckeltalen beräknas på skillnaden mellan skördarförarens manuella kontrollmätning av diametern och skördaraggregatets diametermätning av samma stock (Nordström & Hemmingsson, 2015). En acceptabel mätnoggrannhet anses vara då minst 90 % av diametermätningarna är inom ± 4 mm från riktigt värde (Arlinger & Möller, 2007).

År 2006 undersöktes mätnoggrannheten i ett antal skördare med kontrollmätning av stockar. Medelvärdet för antalet diametermätningar inom intervallet ± 4 mm för de skördarna var 68 %. Det var en förbättring av diametermätnoggrannheten från tidigare år då den legat på 59 % (1996) respektive 64 % (2001). Variationen mellan de enskilda skördaraggregatens diametermätningar i studien år 2006 låg på 60-81 % (Arlinger & Möller, 2007).

Diametermätnoggrannheten påverkas främst av tryckinställningarna i kvistknivar och matarhjul. Tryckinställningarna är individuella för varje skördaraggregat och måste anpassas för det individuella aggregatet för att ge samma mätnoggrannhet (Nordström & Hannrup, 2017).

Bortsett från tekniska egenskaper i aggregaten finns det yttre parametrar som påverkar mätnoggrannheten. I handledningen "Håll måttet" från Skogforsk (Nordström & Hemminson, 2015) listas följande parametrar:

Maskinförarens *körstil* har en inverkan på mätresultatet beroende på hur uppärbetning av stammen sker; om maskinföraren tar stöd vid uppärbetning av tunga stockar och hur väl stammen följs vid matning genom aggregatet.

- *Tekniskt underhåll* av skördaraggregatet är viktigt för att behålla bra mätvärden. Slitage och mekaniska fel bland de vitala delarna: matarhjul, diametergivare, kvistknivar och mät hjulet påverkar mätnoggrannheten negativt.
- *Maskinvalet* är viktigt eftersom basmaskinen ska orka hålla upp trädet vid bearbetning.
- *Inställningar hos skördaraggregatet* som trycket hos kvistknivar, mät hjul, matarhjul samt matningshastigheten har en inverkan på mätresultatet.
- *Temperatur* påverkar mätning av stammen, främst under våren då savningen gör att barken lätt släpper från stammen och orsakar felaktiga mätvärden.
- *Trädens individuella egenskaper* påverkar också mätvärden. Träd som är ovala, har mycket kvistar eller grov bark kan orsaka felaktiga mätvärden
- Att *kalibrera mätutrustningen* är viktigt för skördarens mätning ska vara tillförlitlig (Nordström & Hemmingsson, 2015) och dessutom minskar det risken för systematiska fel i mätningen (Wilhelmsson & Arlinger, 1997).

1.2.4 Kalibrering av mätutrustning

För att maskinernas mätdata ska vara tillförlitlig krävs det att mätutrustningen kalibreras med jämna mellanrum. Kalibreringen bör göras för respektive trädslag och varje diameterklass. Kalibreringen utförs genom att skördarföraren manuellt kontrollmäter en stock vid förbestämda intervall eller punkter (Nordström & Möller, 2013). De värden som tas fram vid kontrollmätningen jämförs med skördarens diametermätning vid samma punkt längs stammen, så kallad brytpunkt. Punkterna bildar ett linjediagram där kalibreringen utförs. Hela kurvan eller brytpunkter i kurvan flyttas så att brytpunkterna från både skördarförarens och skördaraggregatets diametermätning stämmer överens för att kalibrera diametergivaren hos skördaraggregatet (Berg, 1992). Underlaget för att kalibrera utrustningen måste vara tillräckligt stort för att det ska vara tillförlitligt (Nordström & Möller, 2013). De kontrollmätta stammarna registreras i en kontrollfil som bifogas med skördarens apteringsfil (Arlinger & Möller, 2006)

Kvalitetssäkring av mätdata innebär att en extern revisor från Virkesmättningsföreningarna (VMF) kontrollerar att skördarföraren följer instruktionerna för kontrollmätning och att skördarens mätning är på en acceptabel nivå. Fältkontrollerna sker minst två gånger på år och kontroll av inskickade kontrolldata från skördaren två gånger i månaden. För att få certifierad mätdata (dvs. godkänt i kvalitetssäkringen) krävs det att 50 % av diametermätningarna är inom ± 4 mm och längdmätningen ska ha en noggrannhet på 60 % av mätningarna inom ± 20 mm. För att kvalitetssäkringen ska gälla har stammarna som mäts slumpats ut av apteringsdatorn. Det finns inget krav på att kvalitetssäkra sina mätdata utan är det är frivilligt (Nordström & Möller, 2013). SCA har inte kvalitetssäkrat skördardata utan instruktionen för kalibrering för SCAs skördarförare är att välja inte allt för knöliga stockar utan de som kan ge bra mätvärden. Hos vissa maskinlag är instruktionen att skicka in 15 kontrollmätningar per maskin och månad.

1.3 Mål och syfte

Denna studie initierades av SCA, som är intresserad av att öka noggrannheten i sina virkesleveranser till industrin. Ett viktigt led i det är att använda teknik som ger bästa möjliga mätnoggrannheten när skördaraggregaten mäter stockarnas diameter. Målet med den här studien var därför att ge en vägledning om hur olika tekniska egenskaper påverkar noggrannheten i skördaraggregatets diametermätning.

Syftet var att undersöka om faktorerna antal griparmar och basmaskinstorlek påverkade mätnoggrannheten i diametermätningen hos skördaraggregatmodeller med trepunktsmätning i de övre kvistknivarna, samt om noggrannheten varierade beroende på om mätningen gjordes när slutavverkning eller gallring var den dominerande avverkningsformen.

2 Material och metod

2.1 Data

Till studien användes SCAs uppföljningsdata från skördare som arbetat inom SCAs vanliga avverkningsverksamhet.

2.1.1 Skördaraggregat

I studien ingick fyra olika skördaraggregatsmodeller (tabell 1) som användes vid slutavverkning eller gallring. I studien ingick tre skördaraggregatsmodeller med 5 kvistknivar och 4 matarhjul, samt en skördaraggregatsmodell med 4 kvistknivar och 3 matarhjul. Skördaraggregaten i studien hade alltså alltid en kvistkniv mer än antalet matarhjul. De rörliga kvistknivarna och matarhjulen räknades ihop under kategorin ”antal griparmar”. För varje modell studerades 5 skördaraggregat, vilket gjorde att det totalt ingick 20 skördaraggregat i studien. Alla skördaraggregat som ingick i studien hade trepunktsmätning med diametermätningen i de övre kvistknivarna.

Tabell 1. Teknisk data för de olika skördaraggregat som ingick i studien. Flera värden innebär att det fanns skillnader mellan de fem skördaraggregaten inom respektive modell. Inom parentes anges antal skördaraggregat med respektive egenskap. Där ingen siffra anges är egenskaperna den samma hos alla skördaraggregat. S= slutavverkning, G= gallring

Table 1. Information about the different harvester-heads included in the study. Multiple numbers indicate that there were differences between the five harvester-heads within every harvester-head model. Numbers within parentheses specify the number of harvester-heads with that characteristic. Where there is no number in parentheses, all harvester-heads have the same characteristic. S=final felling, G= thinning

Parameter	Komatsu C144	John Deere	Komatsu C93	John Deere H413
Diametergivarens placering	Övre kvistknivar	Övre kvistknivar	Övre kvistknivar	Övre kvistknivar
Antal givare	3	3	3	3
Antal kvistknivar				
Fasta	1	1	1	1
Rörliga	4	4	3	4
Antal matarhjul				
Fasta i bröstet	2	2	1	2
Rörliga på armar	2	2	2	2
Antal griparmar	6	6	5	6
Dominerande av- verkningsform	S(5)	S(5)	S(1) G(4)	G(5)
Basmaskinstorlek* (ton)	20-22 ^A (5)	20-22 ^A (3) > 22 ^B (2)	15-20 ^A (5)	15-20 ^A (5)

^A(Uusitalo, 2010) ^BEgen klassificering

Basmaskinerna indelades i olika grupper efter Uusitalo (2010) viktklassificering av basmaskiner. För den tyngsta basmaskinen gjordes en egen klassificering då den inte fanns klassad utav Uusitalo (2010)(tabell 1).

2.1.2 Kontrollfiler

Mätdata från en period på 1 år (okt 2016-okt 2017) laddades ner från SCAs uppföljningsdata. Data innehöll kontrollfilsformatet .hqc eller .ktr beroende på vilken typ av kontrollfiler som registrerades i apteringsdatorn. Filformaten .hqc och .ktr är StanForD standard som är en standard för kommunikation med skogsmaskiner (Arlinger & Möller, u.å.). Kontrollfilerna innehåller data från mätningar av enskilda kontrollstockar, både från skördaraggregatets mätning av stammens diameter på bark (M1) samt skördarförarens kontrollmätning av densamma (M2), båda måtten är mätt med 1 mm noggrannhet. Filerna skapas och skickas in till SCA när skördarföraren kontrollmäter en stock som skördaraggregatet mätt. Filerna öppnades med ktr-analys, ett av Skogforsk tillhandahållet program för analys av kontrollfiler. Från ktr-analys exporterades data till Excel för bearbetning.

Antalet kontrollmätta stammar från varje enskilt skördaraggregat låg mellan 74 och 511 stycken, med minst en mätning per stock. Mängden mätpunkter för respektive skördaraggregatmodell låg mellan 11 455 och 25 794 stycken mätningar. Den totala mängden mätpunkter för alla skördaraggregat uppgick till 68 757.

2.2 Statistisk analys

För att analysera data delades det in i kolumnvisa kategorier. De kategorier som användes var mätnoggrannheten (differensen M1-M2), antal griparmar, basmaskinstorlek och dominerande avverkningsform (tabell 2).

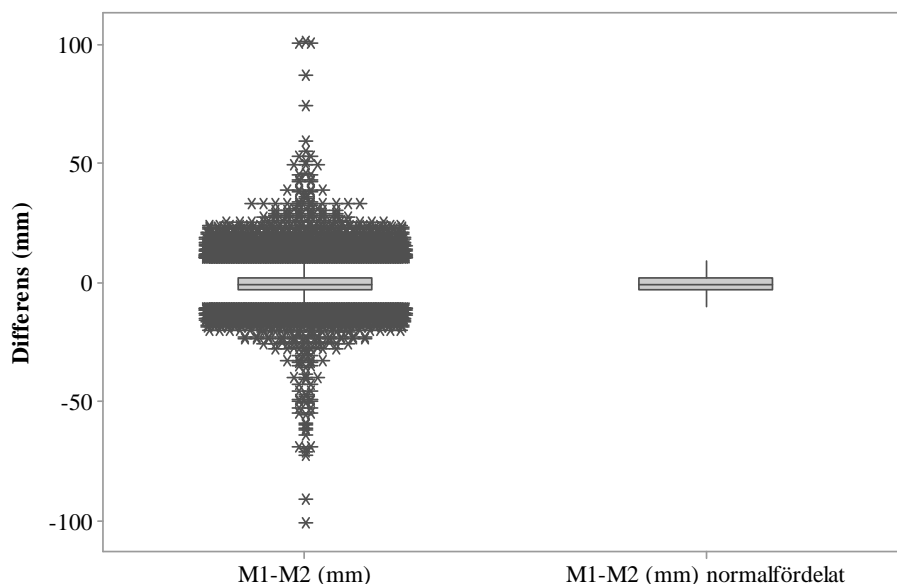
Tabell 2. Exempel på hur data ställdes upp för analys. M1-M2 är differensen mellan skördaraggregatets diametermätning och skördarförarens manuella kontrollmätning på samma mätpunkt längs stammen

Table 2. Example of how data were arranged for analysis of factors. M1-M2 are the difference in between the harvester-head measurement of diameter and the harvester operator control measurement of the same measurement point along the stem

M1-M2 (mm)	Antal griparmar	Dominerande avverkningsform	Basmaskinstorlek (ton)	Aggregat
-101	6	S	20-22	C144
3	6	S	> 22	H415
-2	5	G	15-20	C93

För att analysera data med envägs-variansanalys behöver det vara normalfördelat. Normalfördelningen av differensen (M1-M2) kontrollerades med Jarque-Bera

normalitets test som visade att data inte var normalfördelat (p-värde $<0,01$). Datasetet hade ett maxvärde på 101 och ett minvärde på -101, medelvärdet för differensen var -0,60 och standardavvikelsen för differensen 5,18 mm. Med en box-plot visualiserades de extremvärden som orsakade att data inte var normalfördelat. Box-ploten visade att det fanns 3 411 extremvärden, vilket var 5 % av den totala datamängden. Genom att beräkna vilka av differenserna som tillhörde normalfördelningen kunde de differenser som var extremvärden tas bort från datasetet. Beräkningen utgick från box-plotens 2,5:e och 97,5:e percentil. De differenser som var mellan de percentilerna var normalfördelade (figur 4). Extremvärdena hade ett spann från 10 till 101 mm, samt från -11 till -101 mm. Extremvärdena var uppmätta färre antal gånger än de differenser som var normalfördelade. Normalfördelningen hos det extremvärdesreducerade datat kontrollerades med Jarque-Bera test som visade att det var normalfördelat (p-värde $> 0,05$). Efter extremvärdesreduceringen av differensen (M1-M2) blev datamängden 65 346, medelvärdet för differensen blev -0,76 mm och standardavvikelsen för differensen 3,80 mm, dessa data användes sedan till analyserna.



Figur 4. Till vänster i figuren visas dataspridningen innan extremvärdesreduceringen. Till höger i figuren är enbart extremvärdesreducerat och normalfördelat data kvar, vilka var de värden som fanns inom box-plotens 97,5:e (9 mm) och 2,5:e percentil (-10 mm).

Figure 4. To the left of the figure, data spread is shown before the outlier-reduction. To the right of the figure, only the normal distributed data is left which was the values that were within the box-plot's 97,5th (9 mm) and 2,5th percentile (-10 mm).

2.2.1 Nyckeltal

Nyckeltalen beräknades utifrån differenser mellan skördaraggregatens och skördarförarens manuella kontrollmätning (M1-M2). De värden som beräknades var den så kallade träffprocenten (andelen mätningar där skillnaden mellan de två mätningarna var inom ± 4 mm), medelvärde för differensen (systematisk avvikelse), standardavvikelse för differensen, samt max och min värden. Medelvärde för differensen angav om skördaraggregatsmodellen i genomsnitt under- eller överskattade stockarnas diameter och hur stor den var. Standardavvikelsen för differensen var ett mått på hur skördarens mätningar varierade från skördarförarens diametermätning. Nyckeltalen beräknades för varje skördaraggregat samt som medelvärde för varje skördaraggregatsmodell baserat på alla observationer för respektive modell. En envägs-variansanalys (envägs-ANOVA) av skördaraggregatsmodellerna och ett post-hoc test (Tukey) utfördes för att undersöka om det fanns signifikanta skillnader i medelvärde för differensen mellan dem.

2.2.2 Analys av påverkande faktorer

För att analysera de förväntade påverkande faktorernas effekt på diametermättnoggrannheten (differensen M1-M2) hos skördaraggregat beräknades envägs-variansanalys för varje faktor var för sig. Responsvariabeln som användes för analyserna var differensen M1-M2. Nollhypotes för analyserna var att det inte fanns någon skillnad i mätnoggrannheten i diametermätningen mellan faktorernas nivåer. De fixa faktorer som studerades var antal griparmar, dominerande avverkningsform och basmaskinstorlek. För faktorn med fler än två nivåer (tabell 3) kombinerades envägs-variansanalys med ett parvist post-hoc test (Tukey) för att undersöka om det fanns någon signifikant skillnad mellan nivåerna. Den kritiska signifikansnivån sattes till 5 %. Andra variabler som användes för resultatet var träffprocent, standardavvikelse för differensen och medelvärde för differensen.

Tabell 3. Påverkande faktorer och deras nivåer. S= slutavverkning, G=gallring
Table 3. Impact factors and their levels. S=final felling, G= thinning

Faktor	Nivå	Antal
Antal griparmar	5, 6	2
Dominerande avverkningsform	S, G	2
Basmaskinstorlek (ton)	15-20, 20-22, > 22	3

3 Resultat

3.1 Mätnoggrannhet

Analys av nyckeltalen hos skördaraggregaten visar att diametermättnoggrannheten varierade mellan skördaraggregatsmodellerna (tabell 4) samt mellan de enskilda skördaraggregaten inom respektive modell (bilaga 1). Envägs-variationsanalys av skördaraggregatsmodell visade att det fanns en signifikant skillnad i medelvärde för differensen mellan alla skördaraggregatsmodellerna (p -värde $<0,01$, R -sq 0,83 %). Post-hoc testet (Tukey) visade att alla modeller hade en signifikant skillnad i medelvärde för differensen utom för skördaraggregatsmodellerna John Deere H415 och H413 (tabell 5).

Skillnaden i träffprocent hos skördaraggregatsmodellerna var 13,39 %. Den skördaraggregatsmodell som hade högst träffprocent var John Deere H413. Skördaraggregatet Komtasu C144 hade lägst träffprocent. Skillnaden mellan den högsta och lägsta medelvärde för differensen för skördaraggregatsmodellerna var 0,95 mm. Skillnaden mellan minsta och största standardavvikelse av differensen hos skördaraggregatsmodellerna var 0,91 mm (tabell 4).

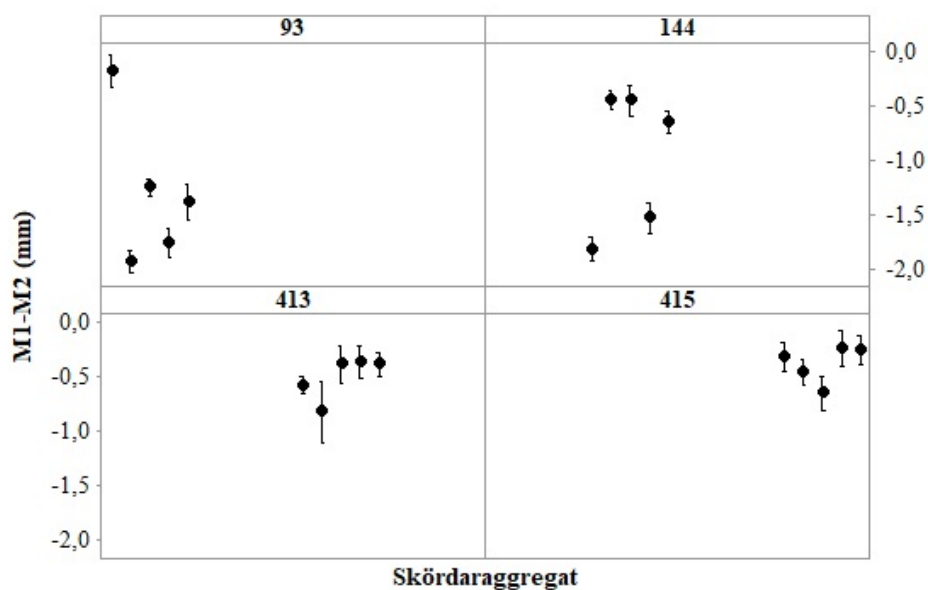
Skördaraggregatsmodellen John Deere H415 hade väl kalibrerad mätutrustning, medelvärdet för differensen var bara 0,38. Precisionen i den skördaraggregatsmodellen var även högst, standardavvikelsen för differensen var den lägsta av de fyra olika modellerna. En sämre kalibrering hade skördaraggregatsmodellen C93, medelvärde för differensen var -1,33. Lägst precision i mätningen hade C144, standardavvikelsen för differensen var 5,52 mm.

Tabell 4. Nyckeltalen för skördaraggregatsmodellerna beräknade på differensen mellan skördaraggregatets och skördarförarens diametermätning (M1-M2). Skördaraggregatsmodeller som inte delar bokstav är signifikant skilda från varandra. JD = John Deere, N är antal mätpunkter

Table 4. Key figures for every harvester-head model calculated on the difference between harvester-head and harvester operator measurements of diameter (M1-M2). Harvester-head models that doesn't share a letter are significant different from each other. N is the number of measuring points

Parameter	Araggregat			
	Komatsu C144	JD H415	Komatsu C93	JD H413
Träffprocent (%)	70,72	72,57	78,15	84,11
Medelvärde för differensen (mm)	-0,83 ^a	-0,38 ^b	-1,33 ^c	-0,47 ^b
Standardavvikelse för differensen (mm)	4,08	4,00	3,40	3,17
Min (mm)	-10	-10	-10	-10
Max (mm)	9	9	9	9
N (st.)	24 379	16 233	13 714	11 020

För de enskilda skördaraggregaten varierade träffprocenten med 68,29-93,37 %. Medelvärdet för differensen varierade mellan -0,19 till -1,94 mm och standardavvikelsen för differensen mellan 2,56 och 4,27 mm (bilaga 1). För Komatsu C144 och C93 var medelvärdet för differensen väldigt spridda mellan de olika skördaraggregaten. John Deeres H413 och H415 hade mer samlade medelvärden för differensen (figur 5).



Figur 5. Intervalldiagram med 95 % konfidensintervall för medelvärdet av differensen M1-M2 hos de enskilda skördaraggregatens diametermätning grupperat efter skördaraggregatsmodeller. Varje intervall representerar ett enskilt skördaraggregat.

Figure 5. Interval plot with 95 % confidence interval for the mean of individual harvester-head diameter measurements of the difference M1-M2 grouped with harvester-head models. Every interval represents a single harvester head.

3.2 Påverkande faktors inverkan på mätnoggrannheten

Alla studerade faktors nivåers effekt på standardavvikelsen för differensen skiljde sig åt, men med en väldigt låg förklarandegrad för varje faktor (tabell 5).

Tabell 5. Faktorernas förklarandegrad (R-sq) och p-värde från deras respektive envägs-variansanalys

Table 5. The factors coefficient of determination (R-sq) and p-value from their respective one-way ANOVA

Faktor	R-sq (%)	P-värde
Antal griparmar	0,60	0,000
Dominerande avverkningsform	0,27	0,000
Basmaskinstorlek	0,27	0,000

Diametern underskattades vid skördarmätningen i genomsnitt för alla faktorer nivåer, med som mest 1,33 mm och som minst med 0,28 mm (tabell 6). Resultaten för de faktorer som studerades visade att träffprocenten var högst för nivåerna 5 griparmar, gallring och en basmaskin på 15-20 ton. För varje faktor som studerades hade nivån med högst träffprocent även lägst standardavvikelse för differensen. Medelvärdet för differensen hade helt motsatta resultat, den visade att 6 griparmar, slutavverkning och en basmaskin på > 22 ton hade lägst medelvärde för differensen med hög standardavvikelse för differensen och låg träffprocent. Skördaraggregatsmodellen som hade 5 griparmar hade näst högst träffprocent. Det som skiljer skördaraggregatsmodellen med högst träffprocent från det med näst högst var att det hade 6 griparmar. Skillnaden mellan skördaraggregatsmodellen med högst träffprocent och de andra skördaraggregatsmodellerna med 6 griparmar var att det gick i gallring och hade en mindre basmaskin (15-20 ton).

Inom varje faktor hade 5 griparmar, gallring och en basmaskin på 15-20 ton högsta träffprocenten. Den lägsta träffprocenten hade nivåerna 6 griparmar, slutavverkning och en basmaskin > 22 ton.

För faktorn antal griparmar var skillnaden mellan de två nivåerna i träffprocent 3,99 %, medelvärde för differensen 0,72 mm och standardavvikelsen för differensen 0,48 mm (tabell 6).

För faktorn dominerande avverkningsform var skillnaden mellan de två nivåerna i träffprocent 10,40 %, medelvärdet för differensen 0,42 mm och standardavvikelsen för differensen 0,83 mm.

För faktorn basmaskinstorlek var skillnaden mellan de tre nivåerna i träffprocent 7,66 %, medelvärdet för differensen 0,67 mm och standardavvikelsen för differensen 0,75 mm.

Träffprocenten för faktorernas respektive nivå varierade mellan 71,11 och 81,90 % (tabell 6).

Tabell 6. Resultatet av envägs-variansanalys av de olika påverkansfaktorerna. Inom varje faktor anges nivåernas signifikans med bokstav, de nivåer som inte delar bokstav är signifikant skilda från varandra. N är antalet mätpunkter

Table 6. Result from one-way ANOVA of different influencers. Within each factor the significance is given by letters. Levels that doesn't share a letter is significant different from each other. N is the number of measuring points

Faktor	Nivå	Träffprocent (%)	Medelvärde för differensen (mm)	Standardavvikelse för differensen (mm)	N (st.)
Antal griparmar	5	78,15	-1,33 ^a	3,40	13 714
	6	74,16	-0,61 ^b	3,88	51 632
Dominerande avverkningsform	G	81,90	-1,04 ^a	3,22	21 997
	S	71,50	-0,62 ^b	4,05	43 349
Basmaskinstorlek (ton)	15-20	80,80	-0,95 ^a	3,32	24 734
	20-22	71,11	-0,73 ^b	4,07	33 520
	> 22	73,14	-0,28 ^c	3,98	7 092

4 Diskussion

4.1 Resultat

Skördaraggregatsmodellen med högst träffprocent var densamma som hade minsta mängden data i studien. Datamängden för respektive skördaraggregatsmodell följde faktiskt samma ordning som träffprocenten gjorde. Frågan blir då om resultatet hade blivit annorlunda om alla skördaraggregatsmodeller hade haft samma datamängd, eller med en omvänd mängd data för skördaraggregatsmodellerna. De två skördaraggregatsmodeller som hade gallring som dominerande avverkningsform var de med högst träffprocent. Dessutom var datamängden för gallring bara hälften så stor som för de skördaraggregatsmodeller med dominerande avverkningsform slutavverkning, vilket också kan ha haft en inverkan på resultatet. Den högre träffprocenten för de skördaraggregatsmodeller som gick i gallring kan eventuellt bero på att vid gallring är basmaskinen tillräckligt stor för att orka bära upp stammarna, vilket ger ett bättre mätresultat (Nordström & Hemmingsson, 2015). Att skördaraggregatsmodellen dessutom hade 6 griparmar borde teoretiskt ge en bättre stamhållning i och med att det är fler griparmar som bär upp stammen. Men det fanns inget stöd för det i analysen av antal griparmar, där resultatet visade att 5 griparmar hade högre mätnoggrannhet.

Skördaraggregatsmodellen John Deere H415 hade lägsta medelvärdet för differensen, det betyder att skördaraggregatsmodellen var väl kalibrerad. Däremot hade skördaraggregatsmodellen en högre standardavvikelse för differensen som tyder på att precisionen i skördaraggregatsmodellen var lägre, därför blev träffprocenten låg. Det samma gäller för Komatsu C144 som hade högst standardavvikelse för differensen, precisionen i skördaraggregatet var låg och orsakade därför en lägre träffprocent.

John Deere H415 och H413 var inte signifikant skilda i medelvärdet för differensen enligt resultatet av Tukeys post-hoc test. De enskilda skördaraggregatens medelvärden för differensen var väl samlade för båda skördaraggregatsmodellerna. De två modellerna hade de lägsta medelvärdena för differensen, vilket tyder på att skördaraggregaten har varit väl kalibrerade samt behållit kalibreringen över tid. De två skördaraggregatsmodellernas träffprocent skilde sig ändå åt. Detta berodde på att precisionen i skördaraggregatsmodellen H413 var högre än för H415. Komatsu C144 och C93s enskilda skördaraggregats medelvärde för differensen var inte samlade, det kan bero på att skördaraggregaten har haft det svårare att behålla kalibreringen över tid.

Alla skördaraggregatsmodeller samt de enskilda skördaraggregaten underskattade i snitt diametern i jämförelse mot skördarförarens diametermätning. Samma resultat har tidigare påvisats i en fältstudie där mätnoggrannheten mellan en liten och stor beståndsgående skördare i andragallring undersöktes. Resultatet var att båda basmaskinstorlekarna underskattade diametern (Nilsson, 2017). Skördarförarens kontrollmätning av diametern bör dock inte ses som stammens verkliga diame-
termått eftersom kontrollmätningen också påverkas av faktorer som gör att mätningen inte är exakt. Manuell klavning av stockarna med en klave baseras på att stammarna har en cirkulär form vilket sällan är fallet. Många stammar är ovala och ger därför olika diame-
termått beroende från vilken sida stocken klavas. För att öka noggrannheten vid kontrollmätningen korsklavas stammarna. Ett annat sätt att minska osäkerheten vid kontrollmätningen är att använda ett måttband för att mäta omkretsen, som sedan räknas om till diametern. Ett måttband har fler kontaktpunkter jämfört med klaven vilket ger säkrare mätvärden. Ett annat vanligt problem som finns vid kontrollmätning av stammens diameter är bristen på kunskap hos den som mäter. Det kan enkelt åtgärdas genom utbildning av skördarföraren (Strandegard, 2009).

Varje faktor som ingick i studien hade en signifikant effekt på medelvärde för differensen (p -värde $< 0,01$). Det innebar att nollhypotesen kunde förkastas då de olika faktorernas nivåer inte hade samma mätnoggrannhet i diame-
termätningen. Däremot var förklarandegraden (R -sq) låg för varje faktor (0,27-0,60 %). Eftersom förklarandegraden är ett mått på hur stor del av den observerade variationen av dif-
ferensen ($M1-M2$) som förklarades av de faktorer som undersöktes (Eddison, 2000), så var det andra saker som påverkade den absoluta merparten av variationen. R -sq kan bli lågt om det bara ingår två nivåer. Enligt Cox & Wermuth (1992) är förkla-
randegraden i många fall missvisande när binära faktorer ingår i modellen, vilket skulle kunna bidra till den låga förklarandegraden för faktorerna antal griparmar respektive dominerande avverkningsform.

Inom varje faktor hade den nivå med högst träffprocent även lägst standardavvikelse för differensen. Det innebär att den nivå som hade lägst standardavvikelse för differensen hade en mindre spridning av mätvärdena. Nivån bidrog alltså till en högre precision i skördaraggregatets diametermätning. Enligt Wilhelmsson & Arlinger (1997) påverkades medelvärdet för differensen av temperatur, årstid, slitage på utrustning och kalibreringen av skördaraggregatet. Eftersom studien baseras på uppföljningsdata som insamlats före studiens genomförande frånsågs dessa faktorer då de inte registrerats vid kontrollmätning. För att de faktorerna skulle ingå behövde de samlas in i fält.

4.2 Material och metod

4.2.1 Skördaraggregat

Tanken med att använda 4 olika skördaraggregatsmodeller med 5 upprepningar av varje var att minska inverkan av felet från yttre faktorer (avsnitt 1.2.3) som påverkar mätnoggrannheten, samt den mänskliga faktorn vid kontrollmätning. På så sätt ökade möjligheten att fånga upp egenskaper hos skördaraggregaten som påverkade mätnoggrannheten. Bland de skördaraggregat som fanns med i studien var det ingen större variation av egenskaper. Det gjorde att mängden mätdata för skördaraggregat med färre antal kvistknivar och matarhjul blev betydligt mindre än för de med fler av dessa. Det begränsade utbudet av skördaraggregatsmodeller med färre griparmar ledde till att det blev svårt att undersöka om mätnoggrannheten verkligen berodde på antalet griparmar. Den obalanserade fördelningen av faktorer gjorde dessutom att det inte var lämpligt att simultant undersöka flera faktorerers effekt samt deras interaktionseffekter.

Anledningen till att inga skördaraggregat med fyrpunktsmätning ingick berodde på att det var ovanliga inom det bolag som data hämtades från. Det fanns enbart några få skördaraggregat av de modellerna att välja mellan, vilket ledde till att de inte inkluderades i studien.

4.2.2 Data

Vid arbetets början fanns det fler filer i databasen för uppföljningsdata att tillgå än vad som sedan analyserades. Efter nedladdningen av uppföljningsdata togs filer som var kopior bort samt filer där skördarförarens kontrollmätning saknades. Även om dessa filer föll bort, blev den tillgängliga datamängden mycket stor.

På grund av en obalanserad försöksdesign gick det inte att använda en mer avancerad statistisk modell för beräkning. Mängden data för varje skördaraggregatsmodell varierade samt att det bara fanns en skördaraggregatsmodell med färre antal griparmar.

I en studie från Yazici & Yolacan (2007) där 12 olika normalitets test jämfördes visade resultatet att Jarque-Bera var det säkraste testet för att kontrollera normalfördelningen vid stora datamängder. De extremvärden hos differensen M1-M2 som orsakade att data inte var normalfördelat bestod till största del av värden som uppmätts några fåtal gånger. Dessa värden kan tänkas komma från tillfälliga mätfel. Det fanns även 8 differenser (4 positiva, 4 negativa) extremvärden som var uppmätta 100 till 450 gånger. För att undersöka deras inverkan på resultatet gjordes analyserna med de extremvärdena inräknade i datasetet. Resultatet med de extremvärdena inräknade gav samma resultat som från det extremvärdesreducerade datat. Då resultaten blev de samma för båda dataseten valdes datat från det extremvärdesreducerade till analyserna, av den anledningen att inga extremvärden ingick i datat. Då extremvärdena dessutom bara motsvarar 4,96 % av 68 757 mätvärden är det en väldigt liten del av datasetet. Eftersom data bestod av automatiskt registrerade filer med kontrolldata som insamlats innan studien påbörjats, blir kontrollen över varje insamlat data låg. Det ledde till att det var svårt att skilja mellan värden som var sanna eller felaktiga vid en utsortering av extremvärden (Eriksson & Lindroos, 2014).

4.3 Styrkor och svagheter i studien

Målet med studien var att ge en vägledning om hur olika faktorer påverkar mätnoggrannheten i diametermätningen hos skördaraggregat. Syftet med den här studien var att undersöka om faktorerna basmaskinstorlek, antalet griparmar och dominerande avverkningsform hade någon inverkan på mätnoggrannheten i diametermätningen hos skördaraggregat som mäter med trepunktsmätning i de övre kvistknivarna. Studien besvarade syftet eftersom det fanns olika påverkan från faktorerna då faktorerna hade signifikant skillnad i medelvärde för differensen.

Styrkan i den här studien var den stora mängden data till analyserna. Studien belyser problematiken med kontrollmätning och mätnoggrannheten i skördaraggregatens diametermätning. Det finns kunskapsluckor som behöver fyllas, för kalibreringen av mätutrustning men även för skördarförare och tillverkare av skördaraggregat. Studien har främst undersökt olika faktorer hos skördaraggregat som påverkar mätnoggrannheten, något som inte tidigare undersökts i större utsträckning. Resultatet belyser att mätnoggrannheten i diametermätning hos skördaraggregat är komplext problem som kan bero på många olika faktorer som samverkar.

Svagheterna i studien är att interaktionseffekter mellan de olika faktorerna inte gick att undersöka, det berodde på en obalanserad försöksdesign. Kontrolldata som användes i analyserna var inte kvalitetssäkrat av tredje part, därför kan resultaten ha påverkats av felaktiga mätvärden trots den stora datamängden för att minska inverkan av skördarföraren.

4.4 Fortsatt forskning inom området

Eftersom faktorer som påverkar mätnoggrannheten i skördarens diametermätning är ett vetenskapligt rätt outrett område skulle det vara intressant med fler studier. Exempelvis hade det hade varit intressant att undersöka skillnaden mellan trepunktsmätning och fyrapunktsmätning för att se om någon av mätmetoderna genererar bättre mätvärden. Dessutom hade en studie där det går att fånga upp flera faktorer samtidigt och se hur de interagerar varit av intresse. Det skulle även öka möjligheten till att använda sig av en mer avancerad statistisk analysmodell. Studier om hur mätnoggrannheten varierar över året och hur mätnoggrannheten varierar med olika diameterklasser skulle kunna bidra med ytterligare kunskap inom området.

4.5 Felkällor

Eftersom mätnoggrannheten i skördaraggregat påverkas av olika yttre faktorer (avsnitt 1.2.3) kommer skördaraggregatens data från säsonger där diametermätningen antingen gynnas eller missgynnas mer, vilket har en inverkan på mätresultatet. Dessutom är antalet kontrollfiler ojämnt fördelade i antal mellan olika skördaraggregatmodeller, både vilken dag kontrollmätningen skedde, även över ettårsperioden, vilket också kan påverka mätresultatet. Då skördaraggregatets diametermätning inte är kvalitetssäkrat av tredje part påverkades kalibrering av hur stort intresse och hur mycket tid skördarföraren lade ner på det. Eftersom det inte finns någon kontroll av hur skördarföraren sköter kalibreringen i fält, kan resultatet i den här rapporten systematiskt ha påverkats av den mänskliga faktorn trots försöket att minska inverkan från det.

4.6 Slutsats

Alla skördaraggregatsmodeller som ingick i studien underskattade i snitt diametern i jämförelse med skördarförarens diametermätning.

Trots att ingen av skördaraggregatsmodellerna hade en träffprocent över 90 % var mätnoggrannheten i medelvärde och standardavvikelse för differensen väldigt låg med tanke på under vilka förutsättningar som stockarna har blivit mätta. Även om det fanns en signifikant skillnad i medelvärdet för differensen hos skördaraggregatsmodellerna (ej mellan John Deere H413 och H415) är skillnaderna väldigt små. Merparten av skördaraggregatens mätvärden är inom ± 10 mm från skördarförarens kontrollmätning!

Den skördaraggregatsmodell som hade högst träffprocent var ett John Deere H413. Skördaraggregatsmodellen hade 6 griparmar, en basmaskin på 15-20 ton och arbetade i gallring. Lägst mätnoggrannhet hade skördaraggregatsmodellen Komatsu C144 med 6 griparmar, en basmaskin på 20-22 ton och arbetade i slutavverkning.

Det fanns en signifikant effekt på medelvärde för differensen av faktorerna antalet griparmar, basmaskinstorlek och dominerande avverkningsform på mätnoggrannheten i diametermätningen. Effekten var väldigt liten, vilket innebar att det fanns annat som påverkade mätnoggrannheten mycket mer.

De faktorer som gav högst träffprocent var 5 griparmar, en basmaskin på 15-20 ton och gallring. Lägst mätnoggrannhet gav 6 griparmar, en basmaskin på 20-22 ton och slutavverkning.

5 Referenser

Arlinger, J. & Möller, J.J. (2006). Kvalitetssäkring av skördarnas mätning. Uppsala: Skogforsk. (Resultat/Skogforsk, 2006:20). Tillgänglig: <http://www.skogforsk.se/contentassets/3a3c190011e241d5a92e22ee8c26a598/resultat20--06-lowres.pdf> [2017-08-31]

Arlinger, J. & Möller, J.J. (2007). Virkesvärdestest 2006 – mätnoggrannhet. Gävle: Skogforsk. (Resultat/Skogforsk 2007:5). Tillgänglig: <https://www.skogforsk.se/contentassets/7807e665cf0842f184e956afd1a3fdfa/resultat5-07-lowres.pdf> [2017-09-22]

Arlinger, J. & Möller, J.J. (u.å.). StanForD 2010 – modern kommunikation med skogsmaskiner. [Broschyr]. Uppsala: Skogforsk. Tillgänglig: <https://www.skogforsk.se/contentassets/f6ab99f3707a4670baeb987798c6e0b6/stanford-2010-svensk.pdf> [2018-02-27]

Berg, P. (1992) Utrustningar för berörande längd- och diamettermätning på skogsmaskiner, Stockholm: Institutet för träteknisk forskning (Trätek P 9111017).

Bergkvist, P. & Fröbel, J. (2013). Att välja trä, en faktaskrift om trä. Stockholm: Föreningen Sveriges Skogsindustrier. Tillgänglig: <https://www.svensktra.se/siteassets/6-om-oss/publikationer/pdf/att-valja-tra.pdf> [2017-10-13]

Bowers, S. (1998). Increased Value Through Optimal Bucking. *Western Journal of Applied Forestry*, vol. 13(3), ss. 85-89. Tillgänglig: <http://www.ingentaconnect.com/contentone/saf/wjaf/1998/00000013/00000003/art00004#expand/collapse> [2017-08-30]

Cox, D.R. & Wermuth, N. (1992). A comment on the Coefficient of Determination for Binary Responses, *The American Statistical*. vol. 46(1). ss. 1-4. DOI: 10.2307/2684400

Eddison, J. (2000). Non casual and casual relationships. I: *Quantitative investigations in the Biosciences using MINITAB*. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, ss. 315-364.

Eriksson, M. & Lindroos, O. (2014) Productivity of harvesters and forwarders in CTL operations in northern Sweden based on large follow-up datasets. *International Journal of Forest Engineering*, vol 25(3), ss. 179-200. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/14942119.2014.974309>

Håkansson, M. (red.) (2000). *Skogsencyklopedin: 8400 artiklar och ordförklaringar*. Stockholm: Sveriges skogsvårdsförbund.

Häggröm, C., Kawasaki, A., Lidestav, G. (2013). Profiles of forestry contractors and development of the forestry-contracting sector in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, vol. 28(4), ss. 395-404. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/02827581.2012.738826>

Larsson, M., & Kinwall, M. (u.å.). *Skogsindustrins Betydelse*. Tillgänglig: <http://www.skogsindustrierna.se/skogsindustrin/skogsindustrin-i-korthet/skogsindustrins-betydelse/> [2017-09-27]

LogMax. (u.å.). *Log Max 4 Point measuring*. Tillgänglig: <http://www.logmax.com/se/fordel/fyrpunktsmatning> [2017-10-11]

Marshall, H.D., Murphy, G.E., Boston, K. (2006). Evaluation of the economic impacts of length and diameter measurement error on mechanical harvesters and processors operating in pine stands. *Canadian Journal of Forest research*, vol. 36, ss. 1661-1673. DOI: 10.1139/X06-064

Nieuwenhuis, M. & Dooley, T. (2013). The Effect of Calibration on the Accuracy of Harvester Measurements. *International Journal of Forest Engineering*, vol. 17(2), ss. 25-33. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/14942119.2006.10702533>

Nilsson, N. (2017). *Hur väl mäter en skördare? En studie i mätprecision hos skördare vid upparbetning av tallstammar*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogens biomaterial och teknik (arbetsrapport 2017:13)

Nordfjell, T., Björheden, R., Thor, M., Wästerlund, I. (2010). Changes in technical performance, mechanical availability and prices of machines used in forest operations in Sweden from 1985 to 2010. *Scandinavian Journal of Forest Research*, vol. 25(4), ss. 382-389. DOI: 10.1080/02827581.2010.498385

- Nordström, M. & Hannrup, B. (2017). Förbättrad diametermätning i skördare – en pilotstudie med åtta Ponsse slutavverkningskördare. Uppsala: Skogforsk (Skogforsk 2017:940) Tillgänglig: <https://www.skogforsk.se/contentassets/323a7ec67dd349b2aef297eea76e9773/forbattrad-diametermatning-i-skordare-en-pilotstudie-med-atta-ponsse-slutavverkningskordare-arbetsrapport-940-2017.pdf> [2017-12-12]
- Nordström, M. & Hemmingsson, J. (2015). Håll måttet! – en handledning från Skogforsk. Gävle: Skogforsk. [Broschyr] Tillgänglig: <http://www.skogforsk.se/contentassets/fe35204c9eee4e5eaae141f6903eb00c/hall-mattet-low.pdf> [2017-08-31]
- Nordström, M. & Möller, J.J. (2013). Kalibrering av skördarens mätsystem – En kartläggning av nuläge och utvecklingsbehov. Uppsala: Skogforsk. (Arbetsrapport nr. 792-2013). Tillgänglig: <http://www.skogforsk.se/contentassets/25240015c95f436cbf034856b7660075/kalibrering-av-skordarens-matsystem--en-kartlaggning-av-nulage-och-utvecklingsbehov-hela.pdf> (2017-08-30)
- SkogsSverige. (u.å.). Skogen & Ekonomin. <https://www.skogssverige.se/politik-ekonomi/skogen-ekonomin> [2017-10-11]
- Strandegård, M. (2009). Evaluation of Manual Log Measurement Errors and Its Implications on Harvester Log Measurement Accuracy. *International Journal of Forest Engineering*, vol. 20(2), ss. 9-16. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/14942119.2009.10702578>
- Uusitalo, J. (2010). *Introduction to Forest Operations and Technology*. Tampere: JVP Forest Systems.
- Wilhelmsson, L. & Arlinger, J. (1997). Hur mycket är det värt att mäta diametern ”rätt” i skördaren? – några ekonomiska reflektioner och försök till värdering. Uppsala: Skogforsk. (Arbetsrapport 366:1997). Tillgänglig: <https://www.skogforsk.se/contentassets/1f5eb1b23bff44cd9fab4a356e75eb21/arbetsrapport-366-1997.pdf> [2017-10-11]
- Yazici, B. & Yolacan, S. (2007). A comparison of various tests of normality. *Journal of Statistical Computation and Simulation*. vol. 72(2). ss. 175-183. DOI: <https://doi.org/10.1080/10629360600678310>

Personlig kommunikation

- Nordström, M. Biträdande programchef värdekedjor, Skogforsk, Uppsala, Sweden. (2017). (personlig kommunikation)

Bilaga 1

Nyckeltal för respektive skördaraggregat som ingick i studien
Key numbers of respective harvester-head included in the study

Aggregats- modell	Parameter	Aggregat				
		1	2	3	4	5
C144	Träffprocent (%)	71,70	69,51	70,54	81,87	68,59
	Medelvärde för differensen (mm)	-1,83	-0,45	-0,46	-1,54	-0,66
	Standardavvikelse för differensen (mm)	3,63	4,19	4,20	3,09	4,27
H415	Träffprocent (%)	70,09	71,94	70,29	74,89	76,90
	Medelvärde för differensen (mm)	-0,31	-0,46	-0,65	-0,24	-0,25
	Standardavvikelse för differensen (mm)	4,16	4,00	4,15	3,86	3,74
C93	Träffprocent (%)	72,01	79,50	93,37	74,52	68,29
	Medelvärde för differensen (mm)	-0,19	-1,94	-1,26	-1,78	-1,40
	Standardavvikelse för differensen (mm)	3,97	3,11	2,17	3,41	3,93
H413	Träffprocent (%)	90,45	73,57	80,08	73,62	91,17
	Medelvärde för differensen (mm)	-0,57	-0,81	-0,38	-0,36	-0,38
	Standardavvikelse för differensen (mm)	2,59	3,84	3,54	3,91	2,56