



Hur väl mäter en skördare?

En studie i mätprecision hos skördare vid upparbetning av tallstammar

How well does a harvester measure?

*A study of measurement precision for a harvester during
processing of pine stems*

Nils Nilsson

Arbetsrapport 13 2017
Examensarbete 30 hp A2E
Jägmästarprogrammet

Handledare: Ola Lindroos

Hur väl mäter en skördare?

En studie i mätprecision hos skördare vid upparbetning av tallstammar

How well does a harvester measure?

*A study of measurement precision for a harvester during processing
of pine stems*

Nils Nilsson

Nyckelord: aptering, skördarmätning, skördarkalibrering, mätprecision, virkesvärde

Arbetsrapport 13 2017

Examensarbete i skogshushållning vid Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi, 30hp
EX0772, Jägmästarprogrammet

Handledare: Ola Lindroos, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Examinator: Dan Bergström, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Sveriges lantbruksuniversitet

Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2017

Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Förord

Examensarbetet motsvarar 30 högskolepoäng och har utförts på institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi (SBT) vid Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU), Umeå. Arbetet utfördes som ett uppdrag åt Norra Skogsägarna.

Jag vill först och främst rikta ett stort tack till mina handledare, Ola Lindroos på SLU och Håkan Lageson vid Norra Skogsägarna för all hjälp och stöttning under skrivandets gång.

Jag vill också rikta ett tack till Maria Nordström på Skogforsk för att ha hjälpt till med en introduktion i ämnet och tekniskt kunnande. Även ett tack till Torbjörn Nyberg för teknisk hjälp i samband med försöket.

Slutligen vill jag rikta ett stort tack till skördarförarna på Landby Forest AB och Engmans Skogsmaskiner AB för er hjälp och ert tålamod i samband med försöket.

Nils Nilsson

Umeå, februari 2017

Sammanfattning

Det finns två metoder för gallring, dels den stickvägsgående och dels den beståndsgående metoden. Beståndsgående skördare är oftast mindre och smalare än stickvägsgående, vilket underlättar vid beståndskörning. Problemet med beståndsgående gallringar kommer vid en eventuell andragallring, då en skördare av konventionell storlek normalt väljs.

Intresset för de små skördarna har ökat, dels bland entreprenörer men också bland privata markägare. Ett behov av att undersöka ifall de små skördarna har förmåga att genomföra andragallring i de bestånd som gallrats med beståndsgående metod vid förstagallringen finns därmed. Ett steg är att säkerställa de små skördarnas förmåga att genomföra en korrekt mätning av virket.

En stor och en liten skördare fick avverka två bestånd var, ett som representerade en förstagallring och ett som representerade en andragallring. Manuellt mätta stockar jämfördes med skördardatorns mätdata för längd- och diametermätningen.

Oavsett bestånd mätte skördarna längre stockar än manuellt mätt längd. Den lilla skördarens träffprocent i längdmätningen var 96,4 procent och den storas 91,1 procent. Längdmätningsskillnaden var signifikant större på den lilla maskinen, vilket till viss del berodde på ett sämre resultat i det kläna beståndet.

Oavsett bestånd mätte skördarna stocken smalare än den manuellt mätta diametern. Diametermätningsskillnaden var signifikant större för den lilla maskinen och stockdiameter hade signifikant inverkan på mätningen. Träffprocenten vid diametermätningen var låg för båda maskinerna med en stor kalibreringspotential.

En slutsats är att nyckeln för lyckad mätning i andragallring med små maskiner ligger i väl utvecklade rutiner för kalibrering av skördarna innan och under avverkning.

Nyckelord: aptering, skördarmätning, skördarkalibrering, mätprecision, virkesvärde

Abstract

There are two existing methods for thinning, the strip road-operated thinning and the stand-operated thinning. Harvesters used in stand-operated thinning's are usually smaller and narrower than harvesters used in strip road-operated thinning's. When stand-operated thinning method is chosen, there is a problem with the potential second thinning when a harvester of conventional size is used.

There is a rising interest for the smaller harvesters, both among the entrepreneurs and the private landowners. Therefore, there is an upcoming need to investigate if the small harvesters have the ability to perform a second thinning in stands that have been thinned one time using the stand-operated thinning method. The ability to perform a correct measuring of the logs is one step in this investigation.

One large and one small harvester felled trees in two stands, one representing a first thinning and one representing a second thinning. The harvesters data for the length and diameter measurement were compared with measurements taken manually.

Regardless of stand, the harvesters measured longer logs than the manually measured length. The smaller harvester had a hit-percentage of 96.4 percent and the big one a hit-percentage of 91.1 percent. The difference between the machines length measurement and the manually was significantly larger for the smaller machine, which partly was depended on a poorer result in the slimmer stand.

Regardless of stand, the harvesters measured diameter slimmer than the manually measured diameter. The difference between the machines diameter measurement and the manually was significantly larger for the small machine and log diameter had a significant impact on the measurement. The hit-percentage of the diameter measurement was low for both machines with a large potential in calibration.

A conclusion is that a key for a successful measuring in second thinning's is well-developed routines for calibration for the harvesters before and during the harvest.

Keywords: bucking, harvester measuring, harvester calibration, measurement precision, wood value

Innehållsförteckning

FÖRORD	
SAMMANFATTNING	
ABSTRACT	
1 INLEDNING	1
1.1 BAKGRUND.....	1
1.2 VIRKESUPPARBETNING.....	1
1.2.1 Apterling.....	1
1.2.2 Mätning.....	2
1.2.3 Kalibrering.....	4
1.3 NORRA SKOGSÄGARNA.....	4
1.4 PRODUKTIVITET OCH KOSTNAD	5
1.5 SYFTE & HYPOTES.....	5
2 MATERIAL & METOD	6
2.1 FÖRSÖKSBESTÅND	6
2.2 MASKINSYSTEM.....	7
2.3 AVVERKNING	8
2.4 MÄTNING.....	9
2.5 DATAHANTERING.....	10
2.6 ANALYS AV DATA	10
2.6.1 Nyckeltal.....	10
2.6.2 Statistisk analys.....	10
3 RESULTAT	12
3.1 LÄNGDMÄTNING	12
3.1.1 Variansanalys.....	13
3.2 DIAMETERMÄTNING.....	14
3.2.1 Variansanalys.....	16
4 DISKUSSION	18
4.1 RESULTAT.....	18
4.2 MATERIEL OCH METOD.....	19
4.2.1 Felkällor.....	19
4.3 FRAMTIDA FORSKNING	20
4.4 SLUTSATS	21
LITTERATURFÖRTECKNING	22

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Gallring är en beståndsvårdande utglesning av skog under tillvaratagande av gagnvirke (Anon, 2011). Gallring genomförs normalt sett i skog som har en övre höjd på minst 10 m och huvuddelen av virket tas tillvara (Agestam, 2009). De allra flesta skogar i Sverige gallras en eller ett par gånger under sin omloppstid, där viljan att producera särskilda och värdefulla sortiment gör att skogsägaren väljer att gallra mer än en gång. År 2013 gallrades ca 16,8 miljoner m³fub i svenska skogar till en kostnad av ca 180 kr/m³fub, vilket medför att den totala gallringskostnaden var dryga 30 miljarder kr (Skogsstyrelsen, 2014).

Normalt finns det två metoder för gallring, dels den stickvägsgående och dels den beståndsgående metoden. En stickväg är en opreparerad väg i terräng där både skördare och skotare kör. Upparbetat virke läggs upp längs efter stickvägen så att skotaren kan lasta det (Lindroos, et al., 2013). Den beståndsgående metoden innebär att det mellan stickvägarna huggs upp en körväg där endast skördaren kör samt att inget virke läggs längs denna väg. Avståndet mellan stickvägarna är därmed längre vid beståndsgående gallring än vid stickvägsgallring. En skördare som använder sig av den beståndsgående metoden är oftast mindre och smalare än en stickvägsgående (Edlund, 2015), vilket underlättar vid beståndskörning.

Skogsmaskiner finns i olika storlekar, där skördare delas in efter sin massa i ton. I en stor undersökning på avverkningsmaskiner i norra Sverige delade Eriksson och Lindroos (2014) in skördare i storleksklasser från small (S) till extra-extra-extra-large (XXXL), där en S motsvarade en vikt på ca 11,5 ton och XXXL ca 22,5 ton. Man fann även att skördare som typiskt användes vid gallring är av storleken medium till large med en vikt på ca 15 – 17 ton. På senare tid har dock intresset för maskiner under 11 ton ökat, dels bland verksamma entreprenörer på grund av den lägre investeringskostnaden, och dels bland privata markägare då det för privata markägare är viktigt att hålla en hög kvalitet i gallring (Sirèn, 2001). De små maskinerna lämpar sig väl att använda för den beståndsgående metoden, vilket resulterar i bestånd med mindre andel stickväg samt högre antal stammar per hektar (Edlund, 2015).

Ett problem med den beståndsgående metoden med de mindre skördarna kommer vid en eventuell andragallring, då en skördare av konventionell storlek normalt sett skulle väljas för att genomföra gallringen. De smala stickvägarna från förstagallringen kommer då vara för smala för denna maskin, vilket resulterar i att ytterligare träd måste avverkas i stickvägen. Ett förmodat problem med detta är bland annat ökad känslighet för vind (Agestam, 2009), samt ökad tidsåtgång för skördaren då denna måste förflytta stammarna längre (Jonsson, 2014).

1.2 Virkesupparbetning

1.2.1 Aptering

”Aptering och tillredning av skogens produkter har mycket stor betydelse för det ekonomiska utbytet av skogsbruket” skrev Nils Bylund & Tage Burvall redan 1968 (Bylund, 1984). Syftet med apteringen är ofta att få ut så högt ekonomiskt värde som möjligt från virket vid avverkningen, genom att upparbeta stammarna så att värdeutbytet blir så högt som möjligt.

Det upptäcktes redan i slutet av 1980-talet att det med hjälp av datorer i skördarna skulle finnas möjlighet att öka det verkliga apteringsutfallet jämfört med det maximala apteringsutfallet hos det avverkade virket (Olsen, et al., 1991). Detta blev extra tydligt när möjlighet fanns att leverera till flera sågverk och de olika sågverken hade egna preferenser på apteringen, eftersom denna information skulle bli för svår för den enskilda föraren att tillämpa. I en studie från Sydafrika där man jämförde skördares aptering med manuell aptering så var slutsatsen att maskinens aptering blev bättre trots faktorer som dubbeltopp och kvistgrovlek (Eggers, et al., 2010).

1.2.2 Mätning

Skördarens precision i aptering påverkar lönsamheten genom hela värdekedjan då det medför att beställande industri får de stockar som önskas, och en bra aptering kräver tillfredställande mätning av längd och diameter. Dagens skördare kan mäta bra, men det finns en stor spridning trots liknande teknik. Nordström (2015) fann att för 19 kvalitetssäkrade skördare hade dryga 50 procent till ca 75 procent av de apterade stockarna en stockdiameter ± 4 mm från manuellt mätt diameter.

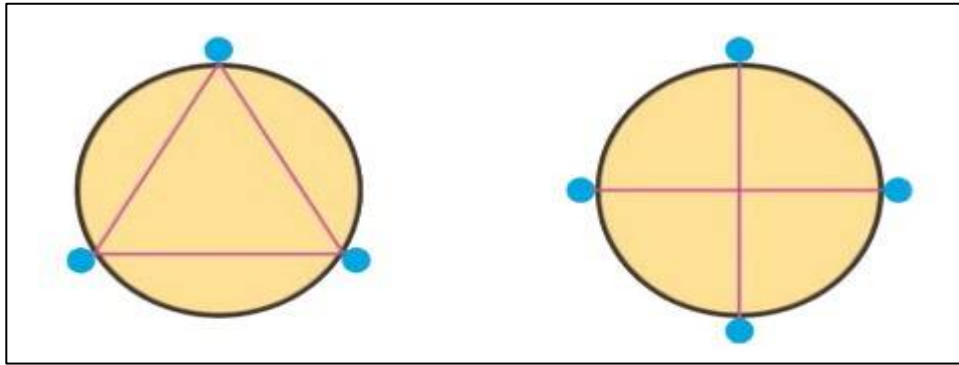
Vid avverkning med dagens skördare sker en kontinuerlig mätning längs med stammen, där tekniken som används är i stort sett samma som kom på 1980-talet (Nordström & Hemmingson, 2015). Stammens längd mäts med ett mät hjul som ofta är placerat på insidan av aggregatet. Diametern mäts antingen med hjälp av de övre kvistknivarna eller med matarhjulena (Figur 1).



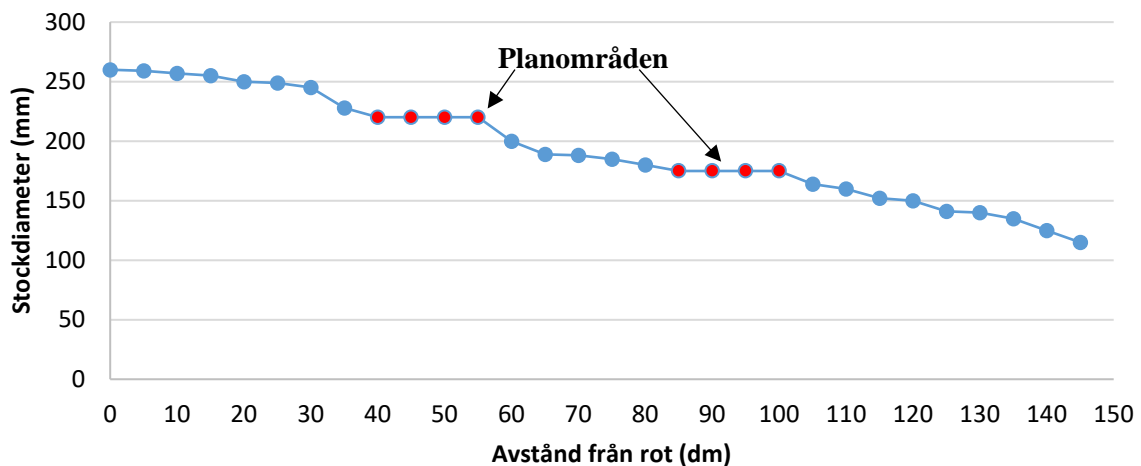
Figur 1. Överblick av delarna på aggregatet som används för längd och diametermätning. *Foto: Skogforsk*
Figure 1. Overview of the parts on the harvester head that is used for length and diameter measurement.

Normalt sett registrerar ett modernt aggregat mätpunkter för diameter på minst tre ställen på stammen (Figur 2). Diametern bestäms sedan antingen med triangulering, eller som ett medelvärde av korsklavningen om fyra mätpunkter krävs. Om skördaren registrerar en ökande diameter längs med stammen så bildas ett planområde på stamprofilen (Nordström &

Hemmingson, 2015) (Figur 3). När detta förekommer vid exempelvis kvistvarv så låter datorn diametern vara statisk fram tills den sjunker under planområdet.



Figur 2. Beskrivning av diametermätningen, med antingen tre eller fyra punkter. Bild: Skogforsk
Figure 2. Diameter measurement with either three or four measuring points.



Figur 3. Baserat på aggregatmätningarna har en stamprofil (blå) registrerats där diametern ibland stiger närmare stammens topp. Skördardatorn filtrerar bort dessa värden och registrerar diametern som oförändrad (röd) fram tills den sjunker igen, vilket skapar planområden i profilen.

Figure 3. Based on harvester head data, a log profile (blue) where the diameter rises occasionally towards the top. The harvester computer filters those values and records them as unaltered (red) until its sinking again, which creates plane areas in the log-profile.

Nordström och Hemmingson (2015) listar sex olika faktorer som påverkar längd och diametermätningen.

- **Maskinval** – Storleken på maskinen bör anpassas till beståndet den skall avverka. Skördaren och aggregatet måste ha tillräcklig kraft att hålla stammen under upparbetning.
- **Tekniskt underhåll** – Mekaniska fel och fel på diametergivare, kvistknivar, matarhjul och mät hjul försämrar mätningen.
- **Maskininställningar** – Inställningar för tryck på kvistknivar, matarhjul och mät hjul och mätningshastighet har betydelse för mätningen.
- **Kalibrering** – Mätssystemet måste vara justerat så att inga systematiska över eller underskattningar av längd och diameter förekommer.
- **Kör stil** – Mätresultatet påverkas av hur väl skördarföraren följer stammen med kranen under matning och i vilken utsträckning som föraren tar stöd för stammen vid kapning av tunga stockar.

- **Yttre faktorer** – Beståndsegenskaper (exempelvis trädens ovalitet, kvistighet, grovlek och bark) samt klimatfaktorer (exempelvis temperatur, fuktighet, savningsperiod) kan snabbt ändra förutsättningarna för mätningen. Under kalla perioder kan mätthjulet få problem då oljan kyls ner och mätthjulet kan tappa trycket mot stammen.

Det finns en allmän uppfattning i skogsbruket om att en liten maskin med litet aggregat klarar mätningen sämre än en stor maskin, särskilt vid mätning av stora stammar. Detta stöds av exempelvis av Arlinger et al. (2014). Slutsatsen som drogs var att den mindre maskinen och framförallt aggregatet inte mäter korrekt på grund av att det lilla aggregatet har en sämre möjlighet till att hålla stammen än det stora aggregatet.

1995 och 2006 har det så kallade ”Virkesvärdestestet” genomförts (Möller, et al., 2008). Skogsbruket satte upp mått under 1990-talet att skördarmätningen skulle vara inom 2 cm för längdmätningen och inom 4 mm på diametermätningen. Andelen mätningar som uppfyller dessa krav kom att kallas för träffprocent för skördarna. Kravet som skogsbruket satte på skördarmätningen var att skördarna skulle klara av att hålla sin träffprocent över 90 procent för både längd och diametermätningen. Det har visat sig att alla skördare inte kommit upp i så hög träffprocent 2006. Endast en maskin klarade av att hålla sin längdmätning på 92 procent och för diametermätningen så uppnådde inte någon maskin mer än 82 procent.

1.2.3 Kalibrering

Olika maskintillverkare har olika metoder för hur kalibrering av aggregaten skall utföras. Gemensamt för alla är att kalibreringsunderlaget utgörs av utvalda stammar som manuellt kontrollmätts med avseende på diameter och längd (Nordström & Möller, 2013). Det är viktigt att underlaget för kalibreringen har mätpunkter i alla diameterklasser som skall kalibreras. Utifrån den manuella kontrollmätningen så kan regressionskurvan för skördardatorn justeras så att systematiska fel kan undvikas.

Haglöf Skalman® är en vanlig programvara för kalibrering av skördare i Sverige. Programvaran är installerad i en Haglöf digitech® dataklave med ett monterat Digitech tape måttband (Haglöf Sweden, 2014). När en stam valts ut till kontrollmätning överförs skördarföraren mätdata för stammen in i klaven som då får en stamprofil. Därefter går föraren ut och mäter stammen manuellt. Programvaran skapar själv en jämförelse mellan mätningarna (HQC/KTR-fil) som sedan skördardatorn kan använda vid kalibreringen.

1.3 Norra Skogsägarna

Under 1800-talet fick skogen i Sverige en ekonomisk betydelse, men den privata skogsbrukaren saknade möjligheten att påverka när det gällde frågor som exempelvis virkesmätning, prissättning eller flottning (Norra Skogsägarna, 2016). Därför fanns ett intresse bland skogsägarna att organisera sig och år 1933 bildades föreningen Tall & Gran. Efter flertalet fusioner med andra skogsägarföreningar i Västerbotten och Västernorrland under 1900-talet så tog man 1999 namnet Norra Skogsägarna.

Norra Skogsägarna är med sina 16355 st. medlemmar, som tillsammans äger 1,12 milj. hektar skogsmark, Sveriges tredje största skogsägarföreningen (Norra Skogsägarna, 2015). Norra Skogsägarna är indelade i åtta virkesområden med kontor från Härnösand i söder till Övertorneå i norr. Föreningen omsatte 2015 ca 1,9 miljarder kr och hade en virkesfångst på dryga 1,8 milj. m³ fub varav närmare 25 procent kom från gallring.

1.4 Produktivitet och kostnad

Produktiviteten hos skördare är starkt korrelerad till medelstamsvolym (Kärhä, et al., 2004, Nurminen, et al., 2006, Eriksson & Lindroos, 2014). Avverkningskostnaden är i sin tur beroende av dels produktiviteten men också inköpskostnad och operationella kostnader på maskinen (Jirousek, et al., 2007), vilket gör att en mindre maskin kan bli kostnadseffektiv trots att dess produktivitet inte är lika stor som hos en större maskin.

I en stor finsk studie (Kärhä, et al., 2004) jämfördes skördare i gallring, med hänsyn till deras produktivitet och kostnad. Här testades Sampo-Rosenlew 1046 (ca 7 ton) mot de något större (ca 11 ton) John Deere 770 och Nokka Profi. Resultatet visade att jämfört med de större maskinerna hade Sampo 1046 en högre produktivitet så länge medelstamsvolymen låg under 0,20 m³ och att avverkningskostnaden var ca 21 procent lägre i andra gallring upp till en medelstamsvolym om 0,25 m³.

1.5 Syfte & Hypotes

Under senare år har Norra Skogsägarna märkt ett ökat intresse både bland markägare samt entreprenörer för att använda sig av mindre maskiner vid gallring. En populär modell bland entreprenörer har blivit Sampo-Rosenlew HR46. I dagsläget anlitar Norra Skogsägarna fem sådana maskinlag, fördelat på tre virkesområden. Norra Skogsägarna ser ett behov av att kartlägga om dessa maskiner har förmåga att kunna genomföra andragallring i de bestånd som gallrats med beståndsgående metod vid förstagallringen. Det finns stöd från bland annat Kärhä's (2004) forskning för att maskinen skall kunna vara kostnadseffektiv, men det finns behov av att kartlägga skördarens möjlighet att tillvarata virkesvärdet.

Syftet med denna studie var därför att besvara följande frågeställningar:

- Hur väl fungerar längd- respektive diametermätningen på en liten skördare jämfört med en konventionell skördare i en andra gallring i norra Sverige?
- Vilken påverkan har den upparbetade stockens medeldiameter på maskinens mätning?

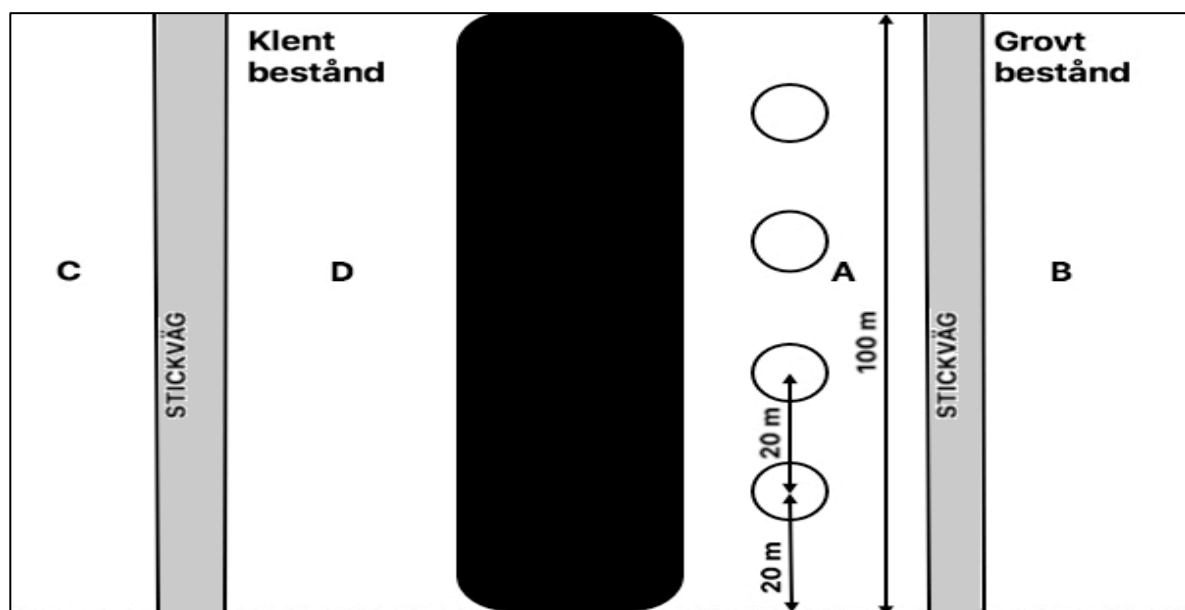
Hypotesen är att den konventionella maskinen har bättre möjlighet att tillvarata virkesvärdet genom bättre mätning jämfört med den lilla maskinen.

2 Material & Metod

Studien utfördes på Norra Skogsägarnas virkesområde Södra Västerbotten i Umeå. Fastigheten var belägen på breddgrad 63,8° nord. Försöket med maskinerna genomfördes den 9–10 oktober 2016 och väderförutsättningarna var likvärdiga under dessa två dagar med +3°C och mulet väder utan nederbörd.

2.1 Försöksbestånd

Studien genomfördes på två olika bestånd inom fastigheten, ett klent och ett grovt bestånd. Det klena representerade en förstagallring och det grova representerade en andragallring (Figur 4). Bestånden delades i sin tur in i två parceller vardera. Bestånden delades längs med stickvägen i fyra parceller och gavs namnen A, B, C och D där A och B är det grova beståndet och C, D det klenare. Varje parcell inventerades genom att fyra provvytor med sju meter i diameter placerades ut längs med befintlig stickväg, med 20 m avstånd. Brösthöjdsdiameter mättes på varje träd inom provytan och höjden togs på ett slumpmässigt provträd. På provträdet mättes också ålder samt att ståndortsindex (SI) klassades med hjälp av övrehöjdsbonitering. Provtagningen gjordes med Haglöf® dataklave.



Figur 4. Illustration över hur indelningen i parceller såg ut i bestånden samt provvyornas placering i bestånden.
Figure 4. Illustration over the distribution of the parcels and the sample plots distribution in the stands.

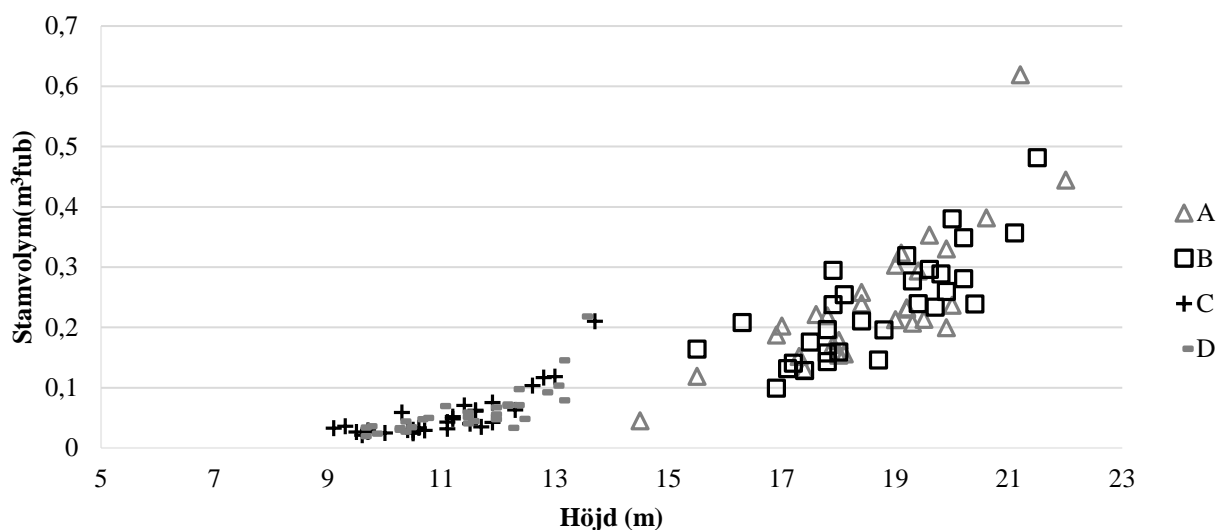
I respektive parcell stämplades 30 tallstammar för avverkning. Stammarna fick sin diameter i brösthöjd och höjd registrerad och beståndsdata togs fram för bestånden samt parcellerna från stämplingen och cirkelprovyteinventeringen (Tabell 1 & 2). Varje maskin lottades till en parcell inom varje bestånd där stora maskinen lottades parcell B och C, medan den lilla maskinen lottades till parcell A och D. Vid stämplingen av stammarna valdes stammarna ut för att vara likvärdiga mellan parcellerna inom respektive bestånd (Figur 5). Mellan försöksyta A och B skiljde sig medelstammen mindre än 2 procent och mellan C och D var skillnaden ca 6 procent.

Tabell 1. Försöksbeståndens karaktäristik. (TGL= Tall, Gran, Löv)
Table 1. The stands data (TGL = Pine, Spruce, Leaf)

	Grovt	Klent
Ståndortsindex (SI)	T22	T24
Brösthöjdsålder (år)	65	25
Övre höjd (m)	19,5	11,2
Antal träd (st.)	901	2039
Trädslagsblandning (TGL)	10,0,0	9,1,0

Tabell 2. Parcellernas karaktäristik
Table 2. Data of the parcels

	Grovt		Klent	
	A	B	C	D
Andel tall (% av antal träd)	100	100	100	100
Medeldiameter (cm)	19,5	19,5	11,1	11,8
Standardavvikelse (cm)	3,95	3,25	3,17	3,10
Medelhöjd (m)	18,6	18,6	11,0	11,4
Standardavvikelse (cm)	1,56	1,48	1,16	1,16
Medelstam (m ³ fub)	0,239	0,235	0,058	0,062
Standardavvikelse (cm)	0,110	0,100	0,007	0,007



Figur 5. Parcellernas stamvolymfördelning.
Figure 5. The parcels distribution over stem size.

2.2 Maskinsystem

Två stycken maskinsystem användes vid försöket (Tabell 3), där den stora maskinen utgjordes av en Komatsu 911 försedd med ett C93 aggregat från Komatsu. Den lilla maskinen utgjordes av en Sampo HR46 med ett Kesla 18RH-2 aggregat. Maskinerna valdes tillsammans med skogsledningen på Norra Skogsägarna då de var relativt nya maskiner och med erfarna förare. Skogsledningen hade uppfattningen att den stora maskinen hade bra resultat vid de interna kontrollerna av längdmätning och därför skulle vara bra som kontroll i försöket.

Eftersom den lilla maskinen normalt inte användes i grov skog så ändrades inställningar för aptering och prislista inför försöket till samma som i den stora maskinen. För båda maskinerna kalibrerades aggregaten innan försöket påbörjades. Maskinförarna hade även möjlighet att slipa sina kvistknivar, byta kedja och övriga förberedelser för att få ett så lyckat mätresultat som möjligt, vilket även utnyttjades. Efter försöket var genomfört framkom det att den lilla maskinen hade ett längdvillkor inlagt för massaved, vilket innebar att aggregatet inte upparbetade massavedsstockar längre än 4,0 m.

Maskinerna kördes av sina ordinarie förare som båda hade över 10 års erfarenhet av att köra skördare professionellt. Respektive förare hade kört sin maskin sedan den var ny och var väl förtrogen med sin maskin.

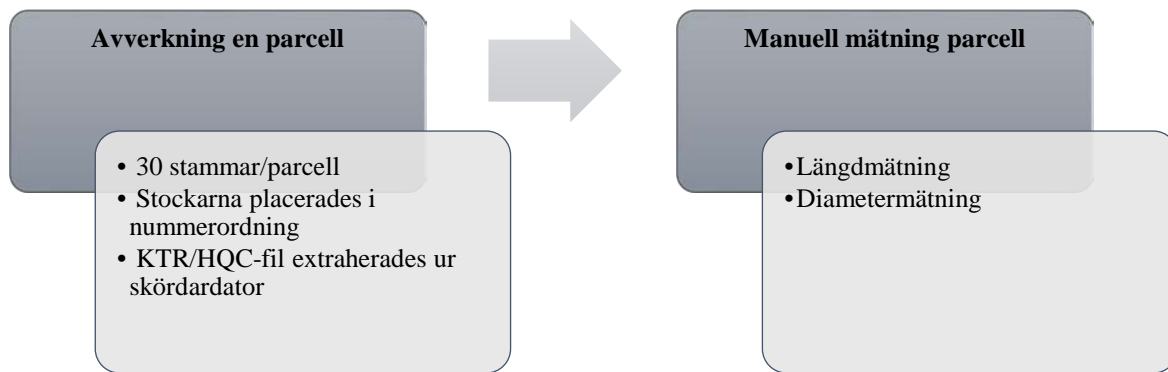
Tabell 3. Data för de två skördarna (*Komatsu Forest, 2016*) (*Sampo Rosenlew, 2016*)
Table 3. Data over the two harvesters (*Komatsu Forest, 2016*) (*Sampo Rosenlew, 2016*)

Tekniskt data	Liten skördare	Stor skördare
Basmaskin	Sampo HR46	Komatsu 911
Vikt (kg)	9000	18000
Kranlängd (m)	7,1	11
Årsmodell	2015-09	2015-11
Driftstimmar	1500	3000
Aggregat	Kesla 18RH-2	Komatsu C93
Vikt (kg)	470	976
Längdmätning	Mätarhjul	Mätarhjul
Antal kvistknivar	2+1	4
Max kapdiameter (mm)	500	600
Max hydraultryck (Bar)	240	250
Apteringsdator	Motomit IT	Maxi Head

2.3 Avverkning

Det lottades i vilken ordning maskinerna skulle köra då det endast var möjligt att genomföra försöket med en maskin per dag. Den stora maskinen lottades att köra första dagen och därmed avverka sina båda parceller (B, C) och den lilla maskinen sina parceller (A, D) dagen därpå.

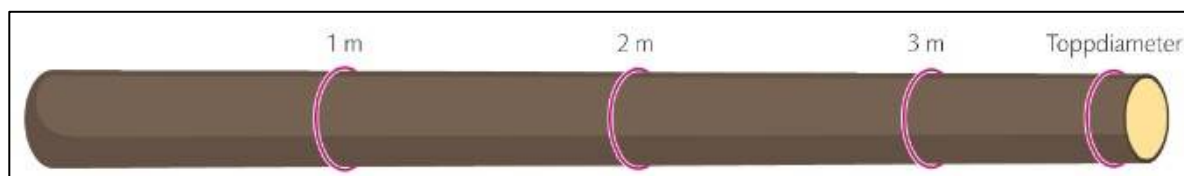
Det lottades att maskinerna skulle börja med det grova beståndet och därefter det klena. Förarna fick instruktion om att inte köra i fullt produktionstempo utan att köra enligt det tempo de ansåg gav bäst förutsättning för ett lyckat mätresultat. Ett absolut krav var dock att de upparbetade stockarna vardera lades i nummerordning för att underlätta den manuella mätningen. Efter att parcellens 30 träd hade avverkats mättes de in manuellt innan nästa parcell avverkadades (Figur 6).



Figur 6. Arbetsgången som sedan repeterades för varje parcell.
Figure 6. The work progress that where repeated for every parcel.

2.4 Mätning

Efter avverkning och upparbetning av en parcells 30 stammar sparades mätdatat ner i skördarens mätklave i programvaran Skalman® och stockarna mättes manuellt i samma ordning som de avverkats. Metoden som användes var samma som Virkesmätaföreningen VMF använder vid kalibrering och kontroll av skördare (Nordström & Hemmingson, 2015), och genomfördes under överseende av professionell skördarkontrollant. Stockarna roterades så att märket efter mät hjulet var parallellt mot markplanet. Sedan mättes längden på den aktuella stocken, där måtten togs från rot till topp. Därefter mättes diametern i topp (10 cm från toppen), och sedan fallande ner efter stammen varje meter utom på rotstocken där sista mätpunkt togs i brösthöjd (100-120 cm från stubbskåret) (Figur 7). Samtliga diametermått korsklavades och det redovisade måttet är ett medel mellan korsklavningarna.



Figur 7. De olika punkterna vid vilka diametermått mättes längsmed stocken.
Figure 7. The different measurement points of where the diameter where measured.

Bild: Skogforsk

2.5 Datahantering

Dataklaven med Skalman® programvara genererade en KTR/HQC-fil som innehöll dels resultatet från skördarens mätning och dels resultatet från den manuella mätningen på motsvarande mätpunkter (Tabell 4).

Tabell 4. Exempel på data som togs fram för en stock (StockID) på en stam (StamNr), där M1 var den maskinella mätningen och M2 var den manuella mätningen

Table 4. Data that were produced for one log (StockID) on a stem (StamNr), where M1 was the machines measuring and M2 was the manual measuring

StockID	StamNr	Mätpunkt (cm)	Diameter (mm)			Längd (cm)		
			M1 (Maskin)	M2 (Manuell)	M1-M2	M1 (Maskin)	M2 (Manuell)	M1-M2
		120						
1	1	(DBH)	177	185	- 8	548	550	- 2
1	1	189	175	183	- 8	-	-	-
1	1	280	174	176	- 2	-	-	-
1	1	394	168	170	- 2	-	-	-
1	1	486	160	166	- 6	-	-	-
1	1	550	158	165	- 7	-	-	-

2.6 Analys av data

Analysen delades in i två delar. Först beräknades nyckeltal utifrån de data som mätningen gav. Därefter skedde en statistisk analys med hjälp av programmet Minitab 17.

2.6.1 Nyckeltal

Följande nyckeltal beräknades vid analysen;

- Medeldifferensen mellan den maskinella och manuella mätningen. Detta mått gav svar på den systematiska avvikelser, eller hur väl kalibrerad maskinen var.
- Standardavvikelsen för skillnaden mellan den maskinella och manuella mätningen. Detta gav ett resultat på hur bra precision maskinens mätutrustning hade.
- Andelen stockar där den maskinella mätningen var inom ± 2 cm från den manuellt uppmätta längden (träffprocent).
- Andelen stockar där den maskinella mätningen var inom ± 4 mm från den manuellt mätta diametern (träffprocent).
- Korrigerad andel inom ± 2 cm respektive ± 4 mm. Korrigeringen innebar att träffprocenten korrigerades för den systematiska avvikelser, för att erhålla den teoretiskt optimala mätningen vid en korrekt kalibrering. Skillnaden mellan träffprocent och teoretisk optimal träffprocent kallas kalibreringspotential.

2.6.2 Statistisk analys

Inför den statistiska analysen så sorterades alla mätpunkter efter kolumnerna maskin, bestånd, differens, diameter och Stock ID (Tabell 5). Det gjordes två tabeller, dels för längdmätningen och dels för diametermätningen.

Analys för spridningen på differensen mellan den maskinella och manuella mätningen gjordes. För längdmätningen gjordes boxplot över hur differensen varierade för de två maskinerna i båda bestånden och de fem olika stocktyperna.

För diametermätningen gjordes ett spridningsdiagram, över hur differensen mellan den maskinella och manuella mätningen varierade över stockdiameter med tillhörande regression. Ett histogram gjordes också för diametermätningen för att se fördelningen för differensen hos de olika maskinerna i de olika bestånden.

Tabell 5. Exempel på hur mätvärden ställdes upp i datafilen inför statistisk analys där differens var skillnaden mellan den manuella och den maskinella mätningen, Stock DIA var diametern vid mätpunkten och stock ID var vilken stock som mätts där 1 var rotstock och ökande siffra anger att stocken var från närmare toppen på stammen

Table 5. Example of how the measurement data was arranged in the data file before the statistical analysis where difference was the difference between the manual and the processor heads measurements, stock_dia was the diameter where the measurement where taken and stock_id was the number of the actual log where 1 was the but log and increasing number suggests it was closer to the top of the stem

Maskin	Bestånd	Stock ID	Stock DIA (mm)	Differens (mm)
Liten	Grovt	1	178	- 5
Liten	Klent	4	176	- 5
Stor	Grovt	3	165	0
Stor	Klent	2	165	- 4

Vid den manuella mätningen av stockarna så genererades i vissa fall inget mätvärde i dataklaven (Tabell 6) och inkluderades därför inte i den statistiska analysen.

Tabell 6. Antalet observationer där manuellt mätvärde saknades

Table 6. The number of observations with missing manual measurement

Variabel	Maskin	Bestånd	
		Grovt	Klent
Diameter	Stor	2	-
	Liten	56	22
Längd	Stor	4	-
	Liten	3	1

För att testa vilka variabler som hade påverkan på mätresultatet så genomfördes en variansanalys (ANOVA) med hjälp av en generell linjär modell dels för längd och dels för diametermätningen. Nollhypotesen som ställdes var att mättdifferensen var densamma för alla variabler i modellen med signifikansnivån 5 procent.

Både för längdmätningen och diametermätningen användes differensen (Differens) mellan maskinella och manuella mätningen som fix faktor. Som slumpmässig faktor angavs Maskin, Bestånd och Stock ID, medan stock DIA användes som kovariat. För att undersöka eventuella interaktionseffekter mellan faktorer och kovariat så skrevs även Maskin*Bestånd, Maskin*stock DIA och Maskin*stock ID in i modellen.

Ett parvist ”post-hoc” Tukey-test med 95 procentigt konfidensintervall genomfördes därefter för att se om och hur de olika behandlingarna var signifikant skilda åt. Jämförelser gjordes för Maskin, stock ID, Bestånd och för Maskin*Bestånd.

3 Resultat

3.1 Längdmätning

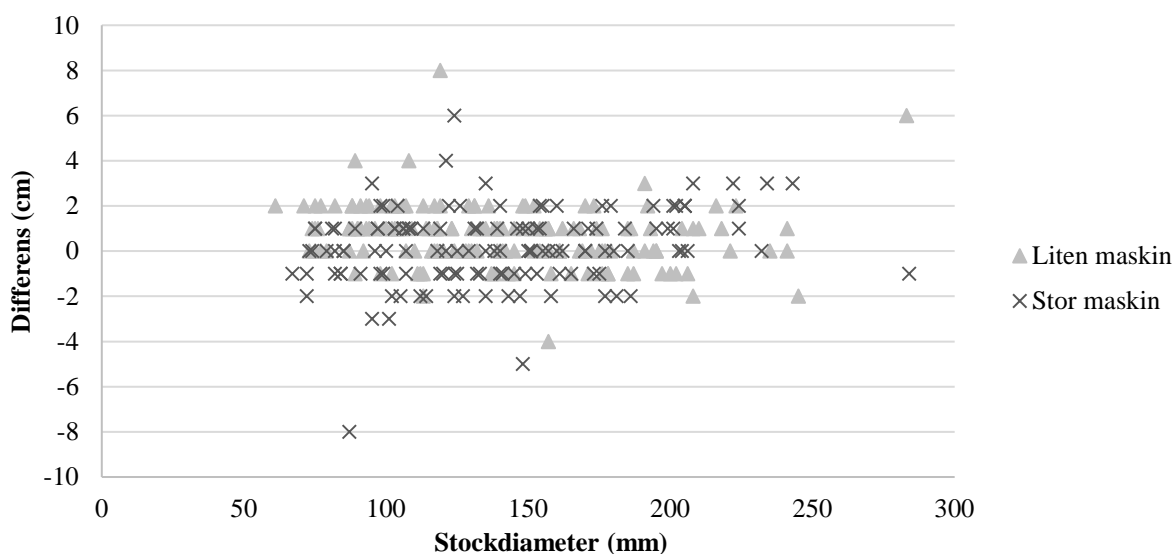
Oavsett bestånd så hade den lilla maskinen störst andel mätpunkter där differensen mellan maskinell och manuell mätning var mindre än 2 cm (Tabell 7).

Motsvarande resultat för den stora maskinen låg 3 respektive 10 procentenheter lägre. Båda maskinerna hade positiva värden för differensen. Detta innebär att aggregatet mätt stockarna längre än den manuella mätningen. Den lilla maskinens standardavvikelse för differensen mellan mätmetoderna var 1,3 cm för de två bestånden tillsammans medan den stora maskinens standardavvikelse var 1,7 cm.

Tabell 7. Nyckeldata för längdmätningen för stor och liten maskin i grovt och klent bestånd
Table 7. Key data for the length measurement for big and small machine in broad and slim trial areas

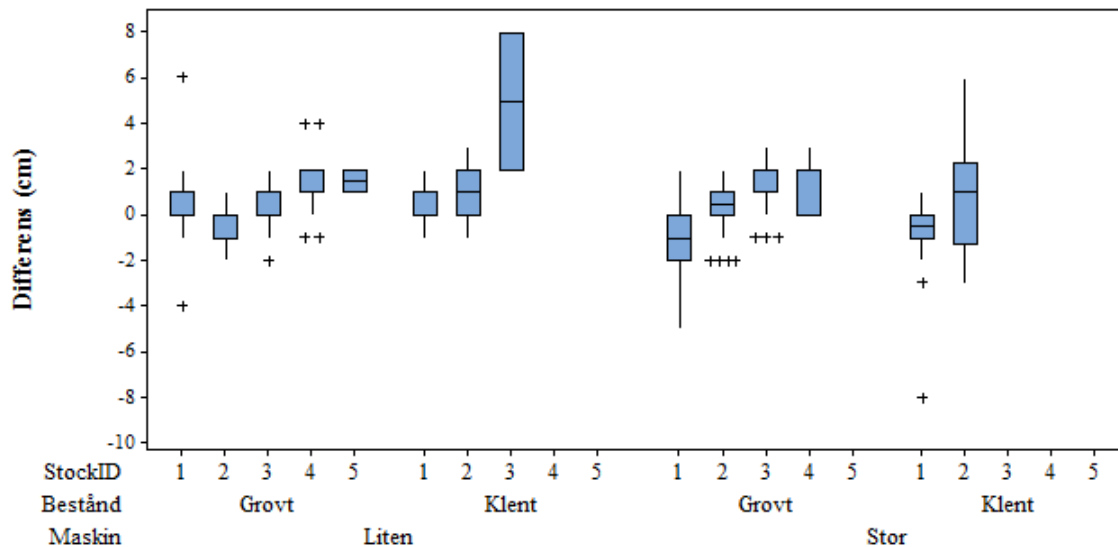
	Stor maskin			Liten maskin		
	Grovt bestånd	Klent bestånd	Total	Grovt bestånd	Klent bestånd	Total
Antal stammar (st.)	30	30	60	30	30	60
Antal stockar (st.)	91	44	135	111	56	167
Antal mätpunkter (st.)	91	44	135	111	56	167
Medeldifferens (cm)	0,4	-0,2	0,2	0,6	0,9	0,7
Standardavvikelse (cm)	1,5	2,0	1,7	1,3	1,4	1,3
Andel inom ± 2 cm från differens 0 (%) (Träffprocent)	93,4	86,3	91,1	96,4	96,4	96,4
Andel inom ± 2 cm från bästa anpassning (%)	95,6	86,3	91,1	96,4	98,2	96,4

Den stora maskinen hade tolv stockar där differensen var större än två cm och åtta av dessa hade en stockdiameter under 15 cm (Figur 8). Motsvarande värde hos den lilla maskinen var åtta stockar och alla dessa hade en stockdiameter under 15 cm.



Figur 8. Differenserna för längdmätningarna hos de två maskinerna fördelat över stockdiameter.
Figure 8. Length measurement differences for the two machines over log diameter.

StockID två och tre i det klena beståndet hade störst spridning i differens mellan den manuella och maskinella mätningen (Figur 9). I det klena beståndet hade den lilla maskinen mätt alla stock nr 3 mellan två och åtta cm längre än den manuella mätningen. Både den lilla och den stora maskinen hade 100 % av mätvärdena \pm två cm från noll för stock nr 2 i det grova beståndet. Endast den lilla maskinen apterade en femte stock i det grova beståndet och en tredje stock i det klena.



Figur 9. Boxplot över differensen för de olika stockarna i de olika bestånden för de olika maskinerna. Boxarna begränsas av första och tredje kvartilen (50 %). Det horisontella strecken i boxarna är medianen medan vertikala streck ut från boxen anger högsta respektive lägsta värde. Utliggare markeras med plustecken.

Figure 9. Boxplot over the difference for the different logs in the different trial areas, for the two machines. The boxes is limited between first and third quartile (50 %), Horizontal whiskers in the boxes is the median while the vertical whiskers out of the boxes indicates highest and lowest values. Outliers is marked with plus sign.

3.1.1 Variansanalys

Vid den statistiska analysen av längdmätningen framkom att alla variabler bidrog signifikant till modellen ($P < 0,05$) utom faktorn bestånd och kovariatet diameter (Tabell 8). Det fanns också en signifikant interaktionseffekt mellan maskin och bestånd.

Tabell 8. De olika variablernas påverkan på modellen i variansanalysen för längdmätningen med ett justerat R^2 -värde på 16,02 %

Table 8. De different variables effect on the model in the variance analysis for the length measurement with a adjusted R^2 -value of 16 02 %

Variabel	p-värde
Diameter	0,760
Maskin	0,003
Stock ID	0,000
Bestånd	0,174
Maskin*Bestånd	0,010

Med alla mätningar hopslagna var längdmätningsskillnaden signifikant större för den lilla maskinen (0,6 cm större) (Tabell 9). Skillnaden berodde framför allt på ett högt differensvärde för den lilla maskinens mätning i det klena beståndet. Den lilla maskinens

mätning skiljde sig inte signifikant från den stora maskinens mätning i det grova beståndet. Oavsett maskin har högst precision på längdmätningen skett på rotstockar, och lägst precision på stock nr 4 och 5.

Tabell 9. Resultatet från Tukey-test för längdmätningen med differens som respons. Inom en variabel anger grupp tillhörigheten (upphöjd bokstav) om variabelernas medelvärde skiljer sig från varandra signifikant med 95 % konfidensintervall

Table 9. Results from the Tukey-test for the length measurement with difference as response. Within one variable group belonging (elevated letter), suggest that the variables mean value is significantly different with a 95 % confidence interval

Variabel	Nivå	N (st.)	Medel (cm)	Differensernas standardavvikelse (cm)
Maskin				
	Stor	135	0,7 ^a	1,7
	Liten	168	1,3 ^b	1,3
Stock_ID				
	1	114	-0,1 ^a	1,6
	2	97	0,4 ^a	1,4
	3	61	1,1 ^b	1,4
	4	29	1,7 ^b	1,2
	5	2	1,7 ^{ab}	0,7
Bestånd				
	Grovt	203	0,8 ^a	1,4
	Klent	100	1,2 ^a	1,8
Maskin*Bestånd				
	Stor-Grovt	91	0,7 ^a	1,5
	Stor-Klent	44	0,7 ^a	2,0
	Liten-Grovt	112	0,8 ^a	1,3
	Liten-Klent	56	1,7 ^b	1,4

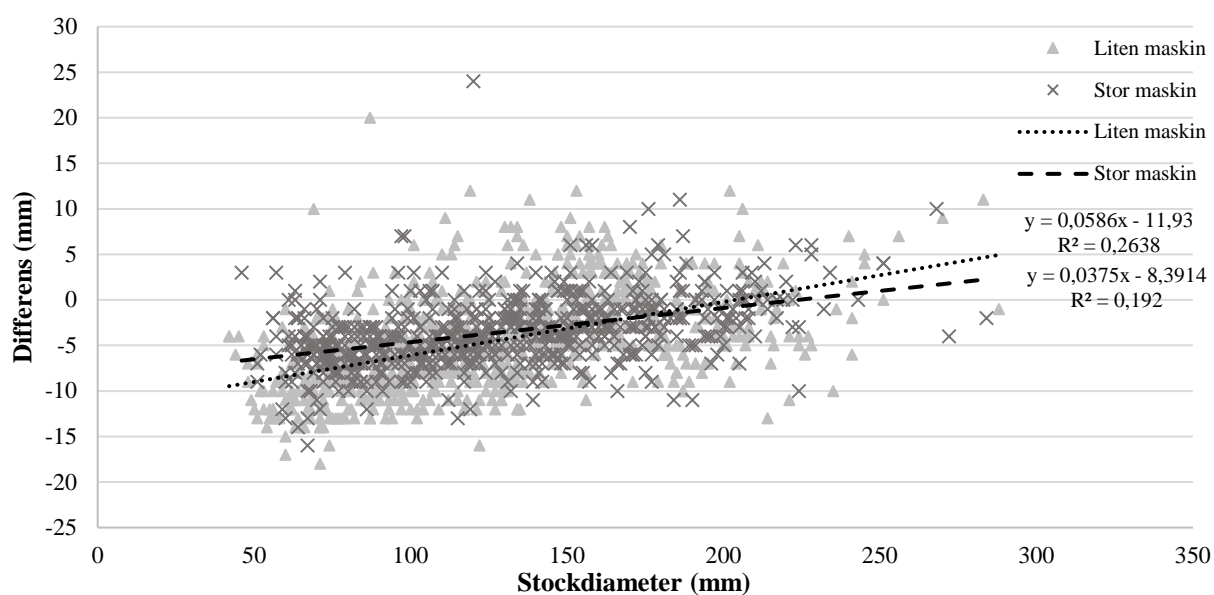
3.2 Diametermätning

Oavsett bestånd hade båda maskinerna negativ medeldifferens, vilket innebär att aggregaten uppmätte stocken som smalare än vid den manuella mätningen (Tabell 10). Den stora maskinen hade en träffprocent på knappa 55 procent och den lilla maskinens träffprocent var 40 procent. Kalibreringspotentialen för båda maskinerna var ca 30 procent. Den lilla maskinen hade en kalibreringspotential i det klenta beståndet på ca 50 procent med en standardavvikelse på 5,20 mm. Den lilla maskinen hade en 14,4 procent lägre bästa anpassning än den stora maskinen.

Tabell 10. Nyckeldata för diametermätningen för stor och liten maskin i grovt och klent bestånd
Table 10. Key data for the diameter measurement for big and small machine in broad and slim trial areas

	Stor maskin			Liten maskin		
	Grovt bestånd	Klent bestånd	Total	Grovt bestånd	Klent bestånd	Total
Antal stammar (st.)	30	30	60	30	30	60
Antal stockar (st.)	91	44	135	111	56	167
Antal mätpunkter (st.)	444	201	645	576	291	867
Medeldifferens (mm)	- 3,2	- 4,6	- 3,6	- 3,4	- 6,9	- 4,5
Standardavvikelse (mm)	3,6	3,6	3,7	4,7	5,2	5,2
Andel inom ± 4 mm från 0 (%) (Träffprocent)	59,6	44,2	54,8	50,3	19,5	40,0
Andel inom ± 4 mm från bästa anpassning (%)	85,8	84,5	85,1	72,5	70,4	70,7

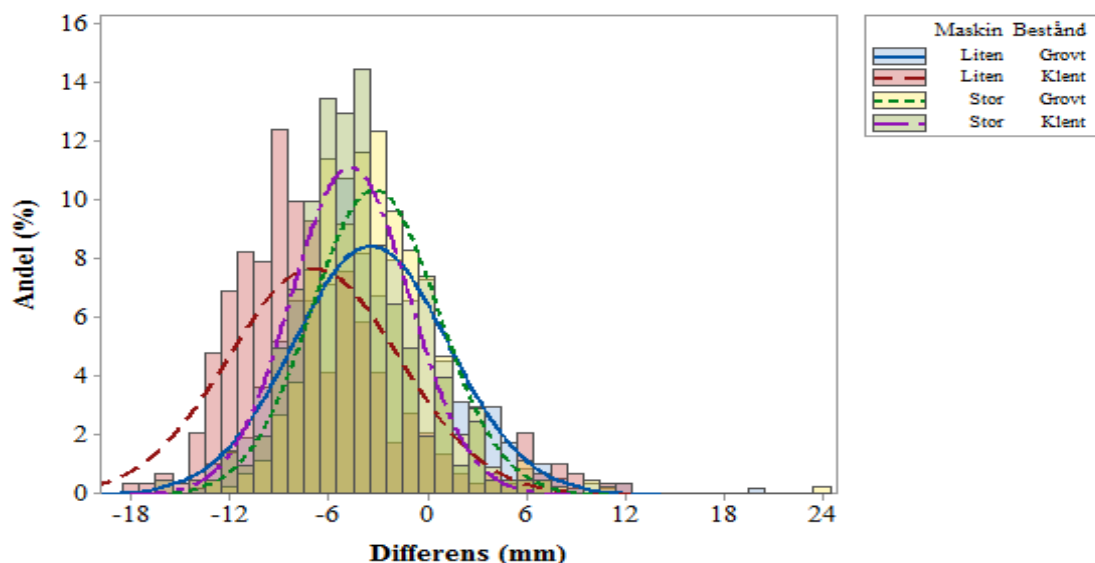
Oavsett maskin och bestånd har aggregaten på 90 % av stockarna med en diameter under 150 mm mätt en smalare diameter än den manuella mätningen (Figur 10). Differensen mellan maskinell och manuell mätning var signifikant korrelerad till stockdiameter. Regressionskurvan för den lilla maskinen hade ett R^2 -värde på 0,26 och den stora ett R^2 -värde på 0,19 (p-värde <0,001).



Figur 10. Differensen på diametermätningen hos de två maskinerna varierat över stockdiameter med tillhörande regressionslinje (p-värde 0,000).

Figure 10. Diameter measurement difference for the two machines varied over log diameter with corresponding regression line (p-value 0,000).

Den stora maskinen hade en mindre standardavvikelse än den lilla maskinen (Figur 11). Båda maskinerna visade en fördelningskurva med merparten av sina differenser under värdet 0, vilket innebär att maskinerna vid merparten av mätpunkterna mätt stocken smalare än den manuella mätningen. Bland alla kombinationer uppvisar den lilla maskinen i det klena beståndet största andelen mätpunkter med en negativ differens.



Figur 11. Histogram för differensen mellan maskinell och manuell diametermätning hos de olika maskinsystemen i de olika bestånden.

Figure 11. Histogram for the difference between machine and manual diameter measurement with the different machines in the different trial areas.

3.2.1 Variansanalys

Alla variabler utom variabeln bestånd bidrog signifikant ($P < 0,05$) till modellen (Tabell 11). Signifikant inverkan fanns för kovariatet diameter med ett p-värde $< 0,001$. Signifikant inverkan fanns ej för interaktionseffekterna mellan vare sig maskin och bestånd eller maskin och diameter.

Tabell 11. De olika variablernas påverkan på modellen i variansanalysen för diametermätningen (justerat R^2 -värde 24,33 %)

Table 11. The different variables effect on the model in the variance analysis for the diameter measurement (adjusted R^2 -value 24,33 %)

Variabel	p-värde
Diameter	0,000
Maskin	0,000
Stock_ID	0,001
Bestånd	0,197
Diameter*Maskin	0,197
Maskin*Bestånd	0,126

Med alla mätningar hopslagna var diametermätningdifferensen signifikant större för den lilla maskinen (1,17 mm större) (Tabell 12). Den lilla maskinen hade större differens i både det klenta och det grova beståndet och skiljde sig signifikant från den stora maskinen i båda bestånden. Det bästa mätresultat uppvisar den stora maskinen i det grova beståndet (- 2,3). Oavsett maskin var bästa diametermätningen på stock nr 4 och 5 (-2,4 mm, - 2,1 mm), och det sämsta på rotstockarna (- 4,5 mm).

Tabell 12. Resultatet från Tukey-test för längdmätningen med differens som respons. Grupp tillhörigheten (upphöjd bokstav) anger om variabelernas medelvärde skiljer sig från varandra signifikant med 95 % konfidensintervall

Table 12. Results from the Tukey-test for the length measurement with difference as response. Group belonging (elevated letter) suggest that the variables mean value is significantly different with a 95 % confidence interval

Variabel	Nivå	N (st.)	Medel (mm)	Differensernas standardavvikelse (mm)
Maskin	Stor	648	- 2,7 ^a	3,8
	Liten	868	- 3,9 ^b	5,2
Stock_ID	1	572	- 4,5 ^a	4,6
	2	490	- 4,0 ^a	4,9
	3	312	- 3,6 ^a	4,3
	4	131	- 2,4 ^b	5,0
	5	11	- 2,1 ^{ab}	4,9
Bestånd	Grovt	1024	- 3,5 ^a	4,4
	Klent	492	- 3,1 ^a	4,7
Maskin*Bestånd	Stor-Grovt	447	- 3,2 ^{ab}	3,9
	Stor-Klent	201	- 2,3 ^a	3,6
	Liten-Grovt	577	- 3,9 ^c	4,7
	Liten-Klent	291	- 3,9 ^{bc}	5,2

4 Diskussion

4.1 Resultat

Den lilla skördarens träffprocent (96,4%) i längdmätningen översteg den storas (91,1%) i detta försök. Stockdiameter hade ingen signifikant inverkan i modellen för längdmätningen, vilket ger en indikation på att längdmätningen inte påverkas av stockarnas grovlek. Interaktionseffekten mellan maskin och bestånd hade en signifikant inverkan, och i Tukey-testet syntes att det var liten skördare i klen bestånd som skiljde sig signifikant från övriga grupperingar. Man kan därför anta att det är andra variabler än stockdiameter som påverkat mätningen, såsom dragstyrka, kontakt med stammen och kvistningsmöjligheter för aggregatet.

Att längdmätningen påverkats av faktorer som har med kvistar att göra styrks av att Tukey-testet visade att de bästa mätresultaten fanns för stock nr 1 och 2, som i huvudsak var stockar som tagits ut på den delen av stammen med mindre andel kvist. Att skördarna lyckades bäst med längdmätningen på stock nr 1 talar emot Arlinger et al. (2014) som antog att små skördare hade sämre resultat på grund av förmodad sämre stamhållning på stora och tunga träd.

Båda maskinerna mätte i snitt stockarna som längre än vad som uppmättes vid den manuella mätningen. Även om förluster sker vid en sådan överskattning (Marshall, et al., 2006) så finns incitament som antyder att det är lönsamt med felmätning motsvarande den systematiska avvikelserna för att säkerställa att man träffar rätt längdmodul satt av mottagaren. Enligt detta försök så finns inte anledning att medvetet ha en övermätning större än maximalt två centimeter då det motsvarar den högsta systematiska avvikelserna uppmätt vid försöket.

Stockdiameter hade signifikant inverkan i modellen för diametermätningen, vilket tydde på skillnad i diametermätningen för skördarna när stockdiametern varierar. Detta stöds av att differensen mellan maskinella och manuella diametern klart visade underskattning vid smalare stockdiametrar, men att differensen var mindre för grövre stockar. Regressionen visar att mönstret var tydligare för den lilla skördaren med R^2 -värde på 26 procent (Figur 10).

Oavsett bestånd var diametermätningens differens signifikant lägre för den stora maskinen (1,2 mm lägre) (Tabell 12). Oavsett maskin har den största diametermätningens differens till skillnad från längdmätningens differens skett på rotstockar, och den minsta skett på toppstockarna nr 4 och 5. Att sämre resultat skett på stock nr 1 kan förklaras dels med rotben på de grövre stammarna som avverkades, samt att de större stammarna varit så stora att aggregatet vid fällningen delvis tappat greppet kring dem.

Båda skördarna hade lyckats väl med sin kalibrering för längdmätningen, men kalibreringspotentialen för en optimal diametermätning (ca 15 %) torde vara för stor för att kallas lyckad. I virkesvärdestet (Möller, et al., 2008) var kalibreringspotentialen mellan en och nio procent för diametermätningen. En anledning till det dåliga resultatet på diametermätningen kan vara trädens ovalitet i skogen försöket genomfördes i. Ovaliteten kunde konstateras vid den manuella korsklavningen då skillnaden mellan klavningarna kunde vara upp mot tio procent.

Båda skördarna visar på underskattning jämfört med manuell mätning vid klenare stockdiametrar, vilket är extra tydligt vid diametermätningen där båda skördarna underskattar diametern jämfört med den manuella mätningen. En justering av kalibreringskurvan för lägre diameterklasser skulle gynna båda maskiners noggrannhet avsevärt.

4.2 Materiel och metod

I syfte att dela in försöksytorna i en simulerad första respektive andragallring gjordes beståndsindelningen i grovt och klent. Volymstamskurvan (Figur 5) anger att bestånden var klart skilda från varandra i karaktär. I den statistiska analysen finns en effekt av beståndsindelningen vid längdmätningen. Det hade därför funnits en fördel med att dela in i flera bestånd, som hade haft en mindre variation i medelstamsvolym för att eventuellt finna det bestånd där respektive skördare haft bäst resultat.

Efter beståndsindelningen så delades varje bestånd in i två stycken försöksytor, i vilket stammar stämplades ut manuellt för att få liknande medelvolymstamsfördelning för båda maskinerna inför försöket. Det var enklare i det grova beståndet då det var av mer homogen karaktär än det klena. Beståndsdata för respektive provyta indikerar dock att provytorna är jämförbara med varandra (Tabell 2 & Figur 5).

Förklaringsgraden (R^2) för variansanalysen vid längdmätningen var ca 16 procent respektive 24 procent för diametermätningen hos de två maskinerna. Det vill säga att 16, respektive 24 procent av den observerade variationen kunde förklaras med hjälp av modellen, och dess variabler. I viss mening kan det antas vara låg förklaringsgrad för modellerna, men man kan inte dra slutsatserna att modellerna är otillförlitliga på grund av detta. Falk & Miller (1992) kunde visa på att modeller med förklaringsgrad över tio procent kan användas för att dra viktiga slutsatser, särskilt vid modeller med stora dataset.

Antalet mätpunkter utan mätvärde var högre hos den lilla maskinen (Tabell 6). Skillnaden beror på den lilla maskinens dataklave som hade en äldre programvara. Den stora maskinens programvara tillät mätpunkter för diametermätningen löpande längs stammen. Den lilla maskinens programvara krävde att mätpunkten låg exakt varje meter från toppen ± 10 cm. I de fall där mätpunkten föll utanför kraven registrerades inget mätvärde.

4.2.1 Felkällor

Den mänskliga faktorn kan inte bortses från vid försök med skogsmaskiner (Purfurst & Erler, 2013), dock hade båda maskinförarna liknande kompetens och erfarenhet av sina respektive skördare. Det faktum att förarna fick möjlighet att skörda träden i valfri hastighet för optimal mätning istället för i normal produktionshastighet torde ha medfört att den mänskliga påverkan ytterligare minskat. De yttre förhållandena vid genomförandet var dessutom liknande under de två testdagarna vilket talar för resultatet ej borde ha påverkats av att maskinerna genomförde försöken vid olika dagar.

Den manuella mätningen genomfördes enligt standard som används av VMF vid kalibrering och kontroll av skördare. Vid mätningen användes dataklave med tillhörande måttband för insamling av data. Diametern korsklavades och längden mättes längs med stammen i mätthjulets spår. Strandgaard (2009) fastställde att felkällorna var mindre vid manuell mätning om man använde sig av måttband, vid mätning av diameter och längd. För det bästa manuella mätresultatet torde man alltså ha använt sig av måttband även vid diametermätningen.

Båda skördarna var av samma årsmodell (2015) och uttagna med bara någon månads mellanrum. Den stora skördaren användes normalt två skift varje arbetsdag jämfört med den lilla som gick enkelskift. Det medförde att den lilla skördaren hade ca 1500 driftstimmar vid försöket, jämfört med den stora som hade ca 2700 timmar vid försökstillfället. Då Nordström & Hemmingsson (2015) listat potentiella felkällor i mätningen så är tekniskt underhåll och förslitningar på delar en faktor, och därför kan man inte bortse från att den stora skördaren potentiellt hade något sämre möjligheter till ett bra resultat.

Resultaten är generellt sämre vid klenare diametrar än i grövre. En teori kring detta är att klenare diametrar representerar fler toppar och träddeklar med fler kvistar än de grövre. Då både mätjulet och kvistknivarna kräver stamkontakt så innebär detta ett problem vid mätningen. Liknande resultat visade Nieuwenhuis & Dooley (2006) i vilket det också fastslog att den manuella mätningen med måttband och klave lättare kunde handskas med dessa problem.

Den lilla skördaren hade i samtliga bestånd apterat kortare stockar än den stora skördaren, vilket syns då den gjorde fler stockar vid avverkningen. Detta visade sig i efterhand ha att göra med den lilla skördarens inställning i apteringsdatorn där den hade en längdgräns inlagd. Resultatet av detta var att endast den lilla skördarens aggregat väljer att aptera fem stockar i det grova beståndet respektive tre stockar i det klena. Då de sämsta mätresultaten finns på de klenare stockarna så finns skäl att anta att den lilla skördarens resultat hade varit bättre om inställningarna för längdaptering varit lika i båda skördardatorerna.

4.3 Framtida forskning

Kalibreringspotentialen i diametermätningen var stor för båda skördarna, vilket ger en indikation om att en optimal kalibrering inte skett för respektive maskin. I dagsläget sköter förarna kalibreringen, och inställningen av sina apteringsdatorer. En jämförande studie där ordinarie skördarförare tillåts kalibrera sin maskin inför avverkning för att sedan jämföra mot en avverkning där kalibrering genomförts av en kalibreringsspecialist skulle finna eventuella utbildningsbehov bland skördarförare, och bättre metoder för kalibrering av skördaraggregat.

Vid framtida virkesvärdestest på skördare och dess aggregat så borde det inkluderas ett flertal mindre skördare, eftersom intresset för de mindre skördarna har ökat bland privata markägare och entreprenörer. Ett utförligt test av flertalet mindre skördare bör ge en tydligare indikation på om de mindre skördarna i allmänhet klarar av mätning vid grövre diametrar.

Vid försöksarbetet filmades skördarna under arbetet i sina provytor. Tidsstudier och produktionstabeller genomfördes ej, men vid kontroll av filmmaterialet kunde man se att den lilla skördaren var begränsad av sin storlek och lägre kraftutveckling vid avverkningen i de grövre diameterklasserna. Den lilla skördaren fick använda sig av tydliga gaspådrag vid kapning och kvistning, jämfört med den större som kunde hålla en jämnare gång på maskinen. Det är svårt att utifrån detta försök uttala sig om utökad förslitning på den lilla maskinen, men produktivets-, bränsleförbruknings- och förslitningsstudier bör ge svar på det.

4.4 Slutsats

Försöket visade att den lilla skördaren hade högre träffprocent vid längdmätningen än alla maskiner testade under virkesvärdestet (Möller, et al., 2008) (96,4%), vilket måste ses som ett mycket lyckat resultat. Diametermätningen innebar större problem för den lilla maskinen där den endast presterat 40 procent inom fyra millimeter, med 30 procent kalibreringspotential. Detta innebär att den lilla skördaren endast hade 22,4 procent av sina volymsberäkningar inom två procent från noll.

För Norra skogsägarna, vars intresse ligger i att veta om den lilla maskinen klarar av gallring i de grövre diameterklasserna så ligger nyckeln till ett lyckat resultat i en väl genomförd kalibrering av mätutrustningen och en kontinuitet i kalibreringsarbetet. Framtida arbete på Norra skogsägarna bör därför ligga i att ta fram bra rutiner och utbildning i kalibrering för skördarförare i syfte att säkerställa en väl genomförd kalibrering. Genomförs detta så finns det indikationer på att den lilla skördaren kan komma upp i mätresultat som är konkurrenskraftiga med de konventionella skördarna.

Litteraturförteckning

Agestam, E., 2009. *Skogsskötselserien nr 7, Gallring*. Skogsstyrelsen.

Anon, 2011. *Skogencyklopedin*. Föreningen skogen.

Arlinger, J., Brunberg, T., Lundström, H. & Möller, J., 2014. *Jämförelse av JD1170E och JD1470E i slutavverkning hos SCA Skog AB hösten 2013*, Uppsala: Skogforsk (Arbetsrapport 817-2014)

Bylund, N., 1984. *Aptering*. 5 red. Borås: Centraltryckeriet.

Edlund, L., 2015. *Uttagsnivån i förstagallring och dess inverkan på framtida tillväxt och avkastningspotential i talldominerade bestånd.*, Umeå: Skogens Biomaterial och Teknologi, Sveriges Lantbruksuniversitet (Arbetsrapport 4-2015)

Eggers, J., McEwan, A. & Conradie, B., 2010. Pinus saw timber optimisation in South Africa: A comparison of mechanized tree optimization (harvester/processor) versus current manual methods. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 72(1), 23-30.

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*, 25(3), 179-200.

Falk, R. & Miller, N. B., 1992. *A primer for soft modelling*. 1 red. Ohio: University of Akron.

Haglöf Sweden, 2014. *Skalman v.7 - En komplett lösning för skördarkalibrering från Haglöf Sweden.* Långsele: Haglöf Sweden.

Jirousek, R., Klvac, R. & Skoupy, A., 2007. Productivity and cost of the mechanised cut-to-length wood harvesting system in clear felling operations. *Journal of Forest Science*, 53(10), 479-482.

Jonsson, R., 2014. *Simulering av gallring med noll, ett eller två beståndsstråk mellan stickvägarna och jämförelse av drivningskostnader.*, Umeå: Institutionen för skoglig resurshållning, Sveriges Lantbruksuniversitet (Arbetsrapport 416-2014)

Komatsu Forest, 2016. *www.komatsuforest.se*. [Online] http://shop.mediahandler.se/pdf/komatsu/k911_b_se.pdf [Använd 26 09 2016].

Kärhä, K., Rönköö, E. & Gumse, S.-I., 2004. Productivity and cutting cost of thinning harvesters. *International Journal of Forest Engineering*, 15(2), 43-56.

Lindroos, O., Nordfjell, T. & Wästerlund, I., 2013. *Liten skogsteknisk ordlista*. Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet.

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*, 36(7), 1661-1673.

- Möller, J. J., Arlinger, J., Hannrup, B. & Jönsson, P., 2008. *Redogörelse - Virkesvärdestest 2006*, Gävle: Skogforsk (Redogörelse nr. 5 2008)
- Nieuwienhuis, M. & Dooley, T., 2006. The effect of calibration on the accuracy of harvester measurements. *International Journal of Forest Engineering*, 17(2), 25-33.
- Nordström, M., 2015. *Precision i skogen*. Skogforsk (Arbetsrapport 35-2015)
- Nordström, M. & Hemmingson, J., 2015. *Håll måttet - En handledning från skogforsk*. 1 red. Uppsala: Skogforsk.
- Nordström, M. & Möller, J. J., 2013. *Kalibrering av skördarens mätsystem - En kartläggning av nuläge och utvecklingsbehov*, Uppsala: Skogforsk (Arbetsrapport 792-2013)
- Norra Skogsägarna, 2015. *Årsberättelse 2015*. [Online]
<http://viewer.zmags.com/publication/7ce813e6#/7ce813e6/30>
[Använd 27 09 2016].
- Norra Skogsägarna, 2016. *Norra Skogsägarna*. [Online]
<http://www.norra.se/omnorra/foreningen/historik/Pages/default.aspx>
[Använd 27 09 2016].
- Nurminen, T., Korpunen, H. & Uusitalo, J., 2006. Time consumption analysis of mechanized cut to length harvesting systems. *Silva Fennica*, 40(2), 335-363.
- Olsen, E., Stephen, P., Garland, J. & Sessions, J., 1991. Computer aided bucking on an mechanized harvester. *International Journal of Forest Engineering*, 2(2), 25-32.
- Purfurst, F. & Erler, J., 2013. The human influence on productivity in harvester operations. *International Journal of Forest Engineering*, 22(2), 15-22.
- Sampo Rosenlew, 2016. *www.sampo-rosenlew.fi*. [Online]
<http://www.sampo-rosenlew.fi/en/home.html>
[Använd 26 09 2016].
- Sirèn, M., 2001. Tree damage in Single-Grip harvester thinning operations. *International Journal of Forest Engineering*, 12(1), 29-38.
- Skogsstyrelsen, 2014. *Skogstatistisk årsbok*, Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Strandgard, M., 2009. Evaluation of manual log measurement errors and it`s implications on harvester log measurement accuracy. *International Journal of Forest Engineering*, 20(2), 9-16.