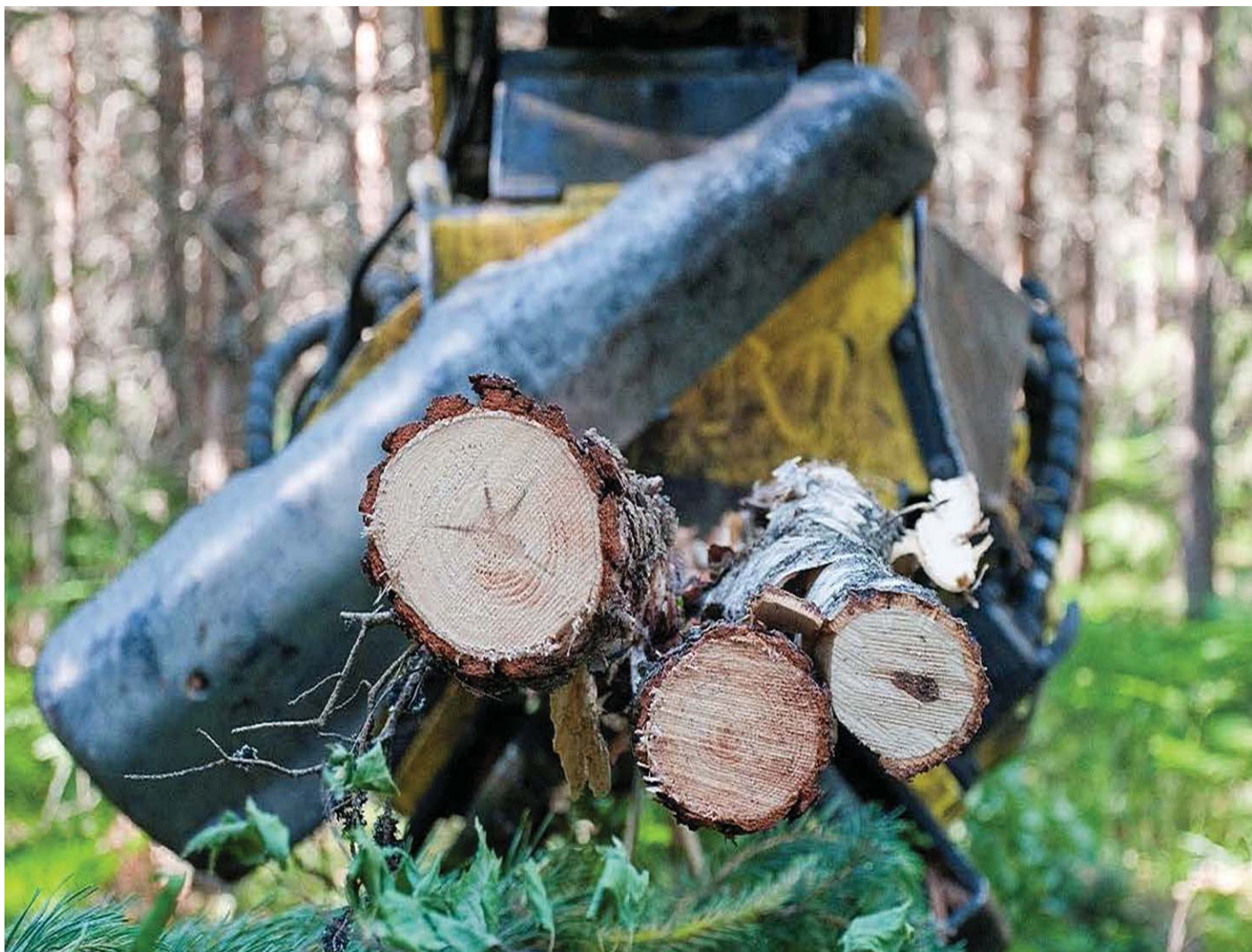




Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 893–2016

Utveckling av en standardiserad metod för kalibrering av volymsbestämning vid avverkning med flerträdshanterande skördaraggregat

**Development of a standardised method for
calibrating volume measurements when using a
multi-tree handling harvester head**

Karin Ågren, Johan J. Möller och Nazmul Bhuiyan

Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 893-2016

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

Titel:

Utveckling av en standardiserad metod för kalibrering av volymsbestämning vid avverkning med flerträdshanterande skördaraggregat.

Development of a standardised method for calibrating volume measurements when using a multi-tree handling harvester head.

Bildtext:

Flerträdsupparbetning med John Deere-aggregat.

Ämnesord:

Flerträdshantering, kalibrering, skördarmätning.

Multi-tree handling, calibration, harvester measurement.

Redigering och formgivning:

Ingegerd Hallberg

© Skogforsk 2016

ISSN 1404-305X



SKOGFORSK

Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala

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

skogforsk@skogforsk.se

skogforsk.se



Karin Ågren, civilingenjör i rymdteknik, samt Filosofie doktor i rymdfysik. Arbetar på Skogforsk i huvudsak med analys av skördardata.



Johan J Möller, jägmästare 1993. Anställd på Skogforsk sedan 1996. Arbetar med frågor kring aptering, simulering av virkesutfall, virkesvärde, kvalitetssäkring av skördarens mätning och användning av skördardata. Johan är även ordförande i StanForD-gruppen.



Nazmul Bhuiyan, civ.ing. teknisk fysik. Anställdes 2010 vid Skogforsk och arbetar främst med utveckling av mjukvaror och algoritmer kopplade till StanForD och skogsmaskiner.

Abstract

Measuring volume directly in the harvester head when processing single trees is a well-established procedure. Multi-tree processing or felling does not offer the same opportunity to continually measure length and diameter for individual stems, as multiple stems are bundled together. The volume estimation of bundles are based on the diameter of the first tree in the bundles why the volume of bundles where the first tree in the bundle is thicker than subsequent tree is overestimated. Similarly, bundles where the first tree is relatively thin may have the volume underestimated.

The aim of this study was to test a calibration method for volume measurements which shall control and decrease the effect of different harvesting behaviour between operators, different handling of trees between harvester heads and varying harvesting prerequisites. The target of this study has been to develop a model which improves the accuracy of volume measurements by systematic correction of such deviations. Differences between calculated and actual volume estimation made by multi-tree handling harvesters were analysed in this study, and the machine-estimated volumes were adjusted accordingly.

As expected the results improved most for the machines that, prior to calibration, had shown the biggest deviation from the correct result. In order to minimise the risk of any greater estimation errors in harvester measurement, we conclude that it is important that a calibration method for multi-tree handling is introduced.

Förord

Denna rapport är skriven inom ramen för projektet ”Kalibrering av volymsbestämning vid flerträdshantering” som drivits vid Skogforsk under hösten 2014 och våren 2015. Projektet är en fortsättningsstudie på ett arbete av (Bhuiyan et al. 2011), där registrering och beräkning av stamdata vid flerträds-
hantering utvärderades genom att jämföra data från skördarens produktionsfil med manuell inmätning av samma buntar.

Studien har finansierats av ”Effektivare skogsbränslesystem – program 2011–2014”, vilket ingår i Energimyndighetens temaprogram ”Uthållig tillförsel och förädling av biobränsle”. ”Effektivare skogsbränslesystem” finansieras av Energimyndigheten, Skogsbruket, Bränsleanvändarna och Skogforsk.

Syftet med projektet har varit att testa en kalibreringsmodell för volymsbestämning, vilket ska kontrollera och minska inverkan av olika förarbeteenden, aggregattyper och varierande beståndsförutsättningar. Målet har varit att ta fram en modell som förbättrar resultatet genom systematisk korrektion för sådana avvikelser. Testerna utfördes av fyra olika maskinlag från Ljusdal i norr till Osby i söder. Kontaktpersoner vid företagen har varit Tobias Norrbom och Thorbjörn Westman, Sveaskog, samt Patrik Anderchen, Södra. Vid testerna i Ljusdal och Furudal deltog Maria Östlund, VMF Qbera. Vi vill rikta ett särskilt tack till alla förare som bidragit med sin tid och kunskap genom att samla in testdata till studien.

Företag	Namn	Område
Dalfors Skogsentreprenad	Sveaskog Mathias Andersson	Furudal
Dalfors Skogsentreprenad	Sveaskog Per Jonsson	Furudal
Dalfors Skogsentreprenad	Sveaskog Markus Johansson	Furudal
Sveaskog	Per Norberg	Ljusdal
Sveaskog	Martin Svensson	Ljusdal
Sveaskog	Ulf Karlsson	Laxå
Sveaskog	Mathias Viktorson	Laxå
Södra	Björn Lundström	Osby

Planering och initiering av tester, analys av data samt sammanställning av rapporten har gjorts av Nazmul Bhuiyan, Johan J. Möller och Karin Ågren, Skogforsk.

Ett stort tack till alla som bidragit till studiens genomförande!

Uppsala i februari 2016

Karin Ågren

Innehåll

Förord	1
Summary	3
Sammanfattning	4
Bakgrund	5
Syfte	6
Metod och material	6
Datainsamling för resultatutvärdering	7
Maskiner, aggregat och förare	7
Avverkade objekt	8
Rensning av buntar som inte registrerades enligt krav	8
Resultat	9
Kalibrering mot egen kurva samt indelning i DBH-klasser	10
Diskussion	12
Jämförelse med travmätning vid terminal	13
Förarintervjuer	14
Saknad sista stam	15
Jämförelse mellan buntvolym	15
Varför en kalibreringsmetod bör införas	16
Slutsatser	17
Referenser	18
Bilaga 1 Skillnad i volym vid referensdiameter över 150 millimeter	19
Bilaga 2 Kalibrering mot egen kurva samt indelning i DBH-klasser, Maskin 1, 3 och 4.	21
Bilaga 3 Ekvationer för medelvärde och standardavvikelse	25
Bilaga 4 Skillnad i volymsuppskattning beroende på val av första stam	27
Scenario 1:	28
Scenario 2:	28
Scenario 3:	28

Summary

Measuring volume directly in the harvester head when processing single trees is a well-established procedure. The method is based on contact measurement of stem length (with a measuring wheel) and diameter (with delimbing knives or feed rollers). However, multi-tree processing or felling does not offer the same opportunity to continually measure length and diameter for individual stems, as multiple stems are bundled together. The volume of the bundle is then calculated by multiplying the volume of individually processed stems of the same size as the first stem by the number of stems in the bundle.

In the current method, the volume of bundles where the first log in the bundle is thicker than subsequent logs is overestimated. Similarly, bundles where the first tree is relatively thin may have the volume underestimated. The aim of this study was to test a calibration method for volume measurements which shall control and decrease the effect of different harvesting behaviour between operators, different handling of trees between harvester heads and varying harvesting prerequisites. The target has been to develop a model which improves the accuracy of volume measurements by systematic correction of such deviations.

Differences between calculated and actual volume estimation made by a multi-tree handling harvester were analysed in this study. All stems were measured, first as bundles and then individually. Both the estimated volume from the harvester (multi-tree felled volume) and the measured volume (volume determined from single-tree processing) were recorded. A comparison between these volumes accumulated over time showed whether the harvester overestimated or underestimated the volume in multi-tree handling. The tests were carried out in four different locations, from Furudal in the north to Osby in the south; four different harvesters were used in the study.

The initial volume estimates by all four harvesters deviated in the interval – 3.3% to 13.8% from the measured volume. Data collected from each machine was then divided into two halves, and measurements in the first half were used to calibrate the machine-estimated volume. After the calibration, the adjusted multi-tree volumes were compared with the control-measured volumes. The calibration had brought the error margin for all machines down to $\pm 5\%$.

Calibration enables greater accuracy in harvester estimation of the volume in multi-tree handling. As expected, the results improved most for the machines that, prior to calibration, had shown the biggest deviation from the correct result. For the two machines that already made a good estimate of the timber volume, the adjustment actually reduced the accuracy of the estimate, but this was within an acceptably low margin of error. In order to minimise the risk of any greater estimation errors in harvester measurement, we conclude that it is important that a calibration method for multi-tree handling is introduced.

A documented and controllable calibration procedure would increase confidence in volumes estimated by harvesters in multi-tree harvesting. A calibration method is of importance for gaining contractors' and forest companies' belief in the accuracy of volume estimations of multi-tree bundles. It also ensures a more reliable basis of payment to contractors and in purchase of forests on the basis of harvester-measured volumes.

We therefore recommend that manufacturers of multi-tree handling harvester heads to introduce and develop calibration in multi-tree handling.

Sammanfattning

Volymbestämning i skördaraggregat vid enkelträdsupparbetning är väl utprovad och baseras på skördarnas berörande mätning av stammarnas längd (med mätjul) och diameter (med mätning i kvistknivar alternativt matarvalsar). Vid flerträdsupparbetning eller flerträdsfällning, finns inte samma möjlighet att löpande mäta längd och diameter för enskilda stammar, då flera stammar ackumuleras i en trädbunt. Volymen för stambunten beräknas då genom att volymen från mätningar på enskilt hanterade stammar i samma storlek som första stammen tas gånger antal stammar i bunt.

Dagens tillvägagångssätt leder till att buntar som inleds med ett, i förhållande till nästkommande stammar, grovt träd får en överskattad volym. På samma sätt får buntar med ett förhållandevis klen förstaträd en underskattad volym. Syftet med studien har varit att testa en kalibreringsmodell för volymbestämningen, vilken ska kontrollera och minska inverkan av olika förarbeteenden, aggregattyper och varierande beståndsförutsättningar. Målet har varit att ta fram en modell som förbättrar resultatet genom systematisk korrektion för sådana avvikelser.

I studien har skillnaden mellan den beräknade och den faktiska volymen från en maskin som flerträdshanterar analyserats. Studien var upplagd så att alla stammar dels mättes in som stambuntar vid ackumuleringen, och sedan upparbetades stamvis, vilket ledde till att såväl den skattade volymen från skördaren (flerträdsvolym), som den uppmätta skördarvolymen (enkelträds-mätt volym), registrerades vid upparbetningen. En jämförelse mellan dessa volymer ackumulerade över tid visade huruvida skördaren överskattade eller underskattade volymen vid flerträdshantering. Testerna var förlagda till fyra olika områden; från Furudal i norr till Osby i söder och totalt ingick fyra olika skördare i studien.

Resultaten visar att alla fyra skördarnas volymskattning initialt låg inom ett intervall från -3,3 % till 13,8 % från den inmätta volymen. Insamlade data från respektive maskin delades sedan upp i två halvor, där den första halvans mätningar användes till att kalibrera maskinens skattade volym. Sedan jämfördes de justerade flerträdsvolymerna, precis som tidigare, med kontrollmätta volymer. Denna insats gjorde att resultatet för alla maskiner hamnade inom ett fel på ± 5 %.

Genom insatser för kalibrering går det att öka träffsäkerheten i skördarnas skattning av volym vid flerträdshantering. Som väntat förbättras resultaten mest för de maskiner som innan kalibrering låg längst ifrån det korrekta resultatet. För de två maskiner som redan gjorde en god skattning av virkesvolymen ledde korrigeringen till ett något försämrat resultat, dock i båda fallen inom en låg och bedömningsvis acceptabel felmarginal. För att minimera risken för eventuella större skattningsfel vid skördarmätning, anser vi att det är viktigt att en kalibreringsmetod för flerträd införs.

En beskriven och kontrollerbar kalibreringsrutin skapar löpande trygghet för volymskattning med skördare vid flerträdsavverkning. En kalibreringsmetod är viktigt för att entreprenörer och skogsföretag ska känna förtroende för metoden och för att den ska kunna användas vid ersättning till entreprenörer och vid köp av skog på skördarmätta volymer.

Vi rekommenderar därför tillverkarna av flerträdsaggregat att introducera och utveckla kalibrering vid flerträdshantering.

Bakgrund

Flerträdshantering har fått ett genombrott de senaste åren och har inneburit sänkta kostnader i klenare gallringsobjekt, som ofta uppkommit genom eftersatt röjning. En stor del av den tillkommande volymen är energived i form av klena stammar eller lövträdslag utan annan användning. Volymbestämmning i skördaraggregat vid *enkelträdsupparbetning* är väl utprovad och baseras på skördarnas berörande mätning av stammarnas längd (med mätthjul) och diameter (med mätning i kvistknivar alternativt matarvalsar). Vid *flerträdsupparbetning* eller *flerträdsfällning*, finns inte samma möjlighet att löpande mäta längd och diameter för enskilda stammar då flera stammar ackumuleras i en trädbunt. Volymbestämmningen baseras då på den första stammens referensdiameter (första diametermättet som mäts på en stam när aggregatet greppar det) i en stambunt, i kombination med information från mätningarna på enskilt hanterade stammar och antal stammar i buntan (Bhuiyan m.fl., 2011). Volymen för en stam som är lika stor som den första stammen multipliceras med antal stammar i buntan. Detta leder till att buntar som inleds med ett, i förhållande till följande stammar grovt träd, får en överskattad volym. På samma sätt får buntar med ett förhållandevis klen förstaträd en underskattad volym.

En studie av (Bhuiyan m.fl., 2011), utvärderade registrering och beräkning av stamdata vid flerträdshantering genom att jämföra data från skördarens produktionsfil med manuell inmätning av samma buntar. Resultaten visade att för väl kalibrerade maskiner, så kommer flerträdshanterade volymer att ligga inom $\pm 25\%$ från kontrollmätt volym. Detta är ett jämförelsevis brett intervall; för enkelträdshantering beräknas volymen ligga inom $\pm 3\%$. Den stora skillnaden motiverade denna fortsättningsstudie.

Syfte

Syftet med studien har varit att testa en kalibreringsmodell för volymsbestämning, vilket ska kontrollera och minska inverkan av olika förarbeteenden, aggregat typer och varierande beståndsförutsättningar. I studien har skillnaden mellan beräknad och faktisk volym för flerträdshanteande skördare analyserats. Målet har varit att ta fram en modell som förbättrar resultatet genom systematisk korrektion för sådana avvikelser.

Metod och material

Grunden för uppföljning av skördarens virkesmätning är de data som lagras i skördarens produktionsfil (pri- eller hpr-fil). I produktionsfilen lagras data dels stamvis, såsom trädslag, DBH, stamnummer, koordinater, etc. dels stockvis, såsom diametrar, längder och volymer. Vid flerträdshantering blir motsvarigheten till denna information lagring av data för det första avverkade trädet beräknat utifrån trädets referensdiameter och liknande avverkade stammar. För resterande avverkade stammar i stambunten kopieras data från detta första träd i bunten, se Figur 1.

MultiTreeFelledStem	
StemBunchKey	507
DBH	98
ReferenceDiameter	
referenceDiam...	74
Abc Text	101
StemVolume	
stemVolumeCat...	m3sobEstimated
Abc Text	0.03200

MultiTreeFelledStem	
StemBunchKey	507
DBH	98
ReferenceDiameter	
referenceDiam...	74
Abc Text	101
StemVolume	
stemVolumeCat...	m3sobEstimated
Abc Text	0.03200

MultiTreeFelledStem	
StemBunchKey	507
DBH	98
ReferenceDiameter	
referenceDiam...	74
Abc Text	101
StemVolume	
stemVolumeCat...	m3sobEstimated
Abc Text	0.03200

Figur 1.

Lagrad information om en flerträdshanterad bunt med tre stammar. I exemplet ovan mäts referensdiametern på 74 cm höjd till 101 mm, varefter DBH och stamvolym skattas utifrån tidigare inmätta enkelhanterade träd. Samma data kopieras för nästföljande stammar.

DATAINSAMLING FÖR RESULTATUTVÄRDERING

Målet med studien var att kunna göra direkta jämförelser mellan skattad och faktiskt skördad volym. Testet har varit utformat enligt följande:

1. Skördarföraren ackumulerar ett antal (2–7) stammar i aggregatet, enligt normalt tillvägagångssätt vid flerträdshantering.
2. Buntens registreras som en MTF-bunt (flerträdsfällning). Mätmetoden vid MTF är densamma som för MTP-träd (flerträdsupparbetning). Det betyder att första stammens referensdiameter mäts och registreras tillsammans med träds slag och antal träd i buntens.
3. Volymen för stambuntens beräknas genom att volymen från mätningar på enskilt hanterade stammar i samma storlek som första stammen multipliceras med antal stammar i buntens. Denna volym kommer i fortsättningen av rapporten att benämnas flerträdsvolym.
4. I stället för upparbetning läggs stammarna i buntens ner på marken och aggregatet nollställs.
5. Stammarna matas en och en genom aggregatet enligt STP (enkelträdsupparbetning), för att ge en så exakt mätning och volymsberäkning som möjligt. För att särskilja träden i testet från efterföljande enkelträdsupparbetade stam kapas en trissa i rotändan av de stammar som buntshanterats.

Eftersom de stammar som ingått i testet dels mättes in som stambuntar vid ackumuleringen och sedan upparbetades stamvis, erhöles dels den skattade flerträdsvolymen från skördaren, dels den mera noggranna skördarvolym som mättes vid upparbetning av buntens enskilda träd. En jämförelse mellan dessa volymer ackumulerade över tid visar huruvida skördarens MTF/MTP-funktion leder till över- eller underskattning av volymen vid flerträdshantering.

Testerna utfördes under skilda dagar, och inte oftare än tre gånger i veckan. Detta för att skördaren skulle hinna flytta sig inom objektet och för att insamlade data inte ska bli alltför homogent.

MASKINER, AGGREGAT OCH FÖRARE

Studien var förlagd till fyra olika områden. Från Furudal i norr till Osby i söder. Detta gjorde att såväl olika typer av skördare som olika typer av skogar blev representerade. Totalt ingick fyra skördare i studien, varav en Komatsu, en John Deere, en Valmet och en Eco Log. Tabell 1 beskriver studerade skördare, områden och medverkande organisationer.

Tabell 1.

Studerade skördare, aggregat och datorversioner, samt fördelning på områden och medverkande organisationer.

#	Skördare	Aggregat	Datorversion*	Område, organisation
1	Komatsu 901TX	Logmax 4000	MaxiXplorer3.2.0.23340	Furudal, Sveaskog
2	John Deere 1170E	H742	TimbermaticH1.19.15	Ljusdal, Sveaskog
3	Valmet 901.4	SP 451 lf	MaxiXplorer3.3.2.24854	Osby, Södra
4	Eco Log 560	LogMax 4000	Log Mate 500 .6.21.21253	Laxå, Sveaskog

* I vissa fall uppdaterades datorversionen under testets gång. I tabellen anges den version som var i bruk vid sista test.

Totalt utfördes testerna av sju olika förare. Två för Maskin 1, 2 och 4, och en för Maskin 3.

AVVERKADE OBJEKT

De praktiska testerna innefattar mellan 219 och 663 unika stammar per maskin, insamlade enligt testproceduren ovan. Tabell 2 visar några nyckeltal för var och en av maskinerna. Vid flerträdshantering mäts normalt referensdiameter, men här redovisas DBH, eftersom referensdiameteren uppmättes på varierande höjd för de olika skördarna, se vidare i Tabell 3.

Tabell 2.

Summerade testdata för respektive skördare. Inom parentes anges gällande värde innan rensning av buntar, se nedan.

Skördare #	DBH flerträd, medel	DBH enkelträd, medel	Antal buntar	Antal träd	Genomsnittligt ant. träd/bunt
	[mm]	[mm]	[st]	[st]	[st/bunt]
1	99 (100)	101 (101)	147 (163)	295 (327)	2,1 (2,0)
2	83 (83)	88 (88)	287 (292)	663 (676)	2,3 (2,3)
3	87 (87)	87 (87)	105 (110)	219 (230)	2,1 (2,1)
4	69 (74)	82 (86)	135 (164)	483 (580)	3,6 (3,5)

Rensning av buntar som inte registrerades enligt krav

Enligt testproceduren kapade förarna trissor (ca 10–70 cm långa) i början av varje stock vid kontrollupparbetningen av enkelträd.¹ Detta gjordes för att identifiera de träd som ingått i en stambunt. När data bearbetades kontrollerades detta följt av en rensningsprocedur (förkastande av buntar som inte uppfyllde kraven enligt nedan). Vid flerträdshantering registreras hur många stammar som ingår i bunten. I de registrerade fall som antalet enkelträdshanterade stammar inte stämmer med det registrerade antalet, innan en ny bunt registreras, talar vi om saknad sista stam.

Rensning av stambuntar skedde enligt följande:

- Alla buntar som saknade en trissa på sista stam förkastades.
- Buntar som saknade en trissa på näst sista stam, samt med saknad sista stam, förkastades.
- Buntar med fler än en saknad sista stam förkastades.
- Buntar som saknade två av tre trissor förkastades, oavsett var i turordningen det skedde.
- I de fall där fler än två träd upparbetats, och såväl den första som den sista stammen registrerats med en trissa, har buntens behållits, oavsett om trissor saknats däremellan.
- Buntar som endast saknat trissa på första stam har behållits. Tabell 3 beskriver de data som lagrades i pri- eller hpr-filer från respektive maskin. För Maskin 4 redovisas ingen uppmätt DBH för flerträdshanterade stammar och för Maskin 2 är den DBH som redovisas inte

¹ Trissornas volym räknas in i stammens totalvolym.

korrekt skattad. Beräkning av en korrigerad DBH utifrån referensdiametern har därför skett i dessa fall. Beräkningen är gjord utifrån ett antagande om en avsmalning om 3 mm per meter. Valet att, trots detta, jämföra alla data i den fortsatta studien mot DBH, och inte referensdiameter, gjordes eftersom DBH är mätt/beräknad på samma höjd (120 cm över stubbskär) för alla maskiner såväl vid flerträdshanterade som vid enskilt hanterade stammar.

Tabell 3.

Implementering av koder i produktionsfiler för de aktuella datorversionerna.

Skördare #	Flerträdshanterade stammar			Enskilt hanterade stammar	
	DBH	Referens-diameter	Stockbuntsdata	DBH	Referensdiameter
1	X	X	X	X	X
2	x*	X	X	X	
3	X	X	X	X	X
4		X	X	X	X

* För Maskin 2 redovisas såväl DBH som referensdiameter för de flerträdshanterade stammarna. DBH är dock konsekvent 3 mm mindre än referensdiametern, vilket påvisar att DBH inte är korrekt skattad då den borde variera med trädstorlek.

Resultat

Resultaten visar att alla fyra skördarnas volym-skattning ligger inom ett intervall från -3,3 % till 13,8 % från det värde som uppmätts genom upparbetning av träden ett och ett (Tabell 4). Störst avvikelse visar Maskin 4 som under testerna skattade volymen 13,8 % högre än vad som senare mättes in. Maskin 4 var också den som tog det högsta genomsnittliga antalet stammar per bunt (se Tabell 2): 3,6 stycken.

Tabell 4.

Skilnad i skattad respektive inmätt volym för de studerade skördarna. Negativa avvikelser för skattningen innebär att flerträdsberäkningen gett en underskattning av volymen jämfört med kontrollen.

Skördare #	Enkelträds-mätt volym	Flerträds volym	Procentuell avvikelse i skattning
	[m ³ fpb]	[m ³ fpb]	[%]
1	15,4	14,9	-3,2
2	24,0	25,6	6,6
3	7,9	7,7	-2,6
4	18,3	21,2	13,7
Totalt	65,5	69,4	5,6

I ett nästa steg togs de buntar bort, vars första stam hade en referensdiameter större än 150 mm, då vi bedömt att dessa data i de flesta fall inte var korrekta. För vidare diskussion runt detta, se Bilaga 1.

Denna rensning medförde att tre buntar försvann för Maskin 1, en bunt för Maskin 2 och åtta buntar för Maskin 4. De nya resultaten redovisas i Tabell 5.

Tabell 5.

Skillnad i skattad och inmätt volym för respektive skördare. Stammar med en skattad referensdiameter på över 150 mm har rensats bort. Ett negativt värde på den procentuella avvikelser i skattning betyder att flerträdsberäkning gett en underskattning av volymen jämfört med kontrollen.

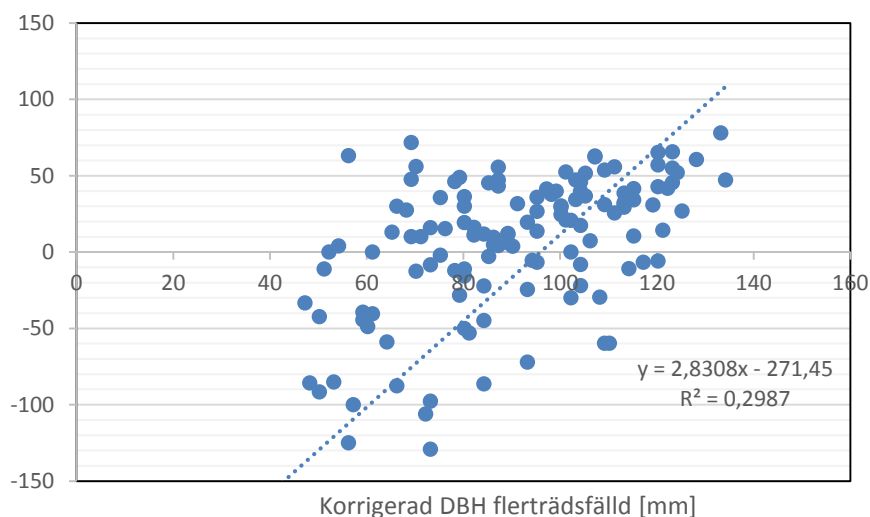
Skördare #	Enkelträds-mätt volym	Flerträds volym	Procentuell avvikelse i skattning
	[m ³ fpb]	[m ³ fpb]	[%]
1	14,7	14,0	-5,0
2	23,8	25,4	6,3
3	7,9	7,7	-2,6
4	17,2	17,7	2,8
Totalt	63,6	64,8	1,9

När stammar grövre än 150 mm inte tas med i slutresultatet, minskade avvikelsen för flerträdsbehandling väsentligt för Maskin 4. Från en avvikelse på 13,7 % erhöles nu en avvikelse på endast 2,8 %. Maskin 1 och 2 förbättras, samt försämras, med respektive 0,3 och 1,8 %. För Maskin 3 kvarstår tidigare resultat.

KALIBRERING MOT EGEN KURVA SAMT INDELNING I DBH-KLASSER

De ovanstående resultaten avser genomgående jämförelser mellan maskin-skattad och enkelträds-mätt volym. De korrigeringar som redovisats bygger helt på att buntar rensats ut enligt angivna kriterier. I nästa steg användes insamlade data från de första testerna för att kalibrera resultaten från efterföljande tester. I figur 2 redovisas den första hälften av testerna för Maskin 2 och en linjär anpassning till data.

Procentuell skillnad i volym (%)



Figur 2.

Den procentuella skillnaden i volym plottad mot DBH på första flerträdsfällda stam per bunt. Varje punkt motsvarar en bunt. Den streckade linjen är en linjär anpassning till punkterna, och dess ekvation anges i högra hörnet. Elva buntar ligger utanför området som täcks av figuren. De har koordinaterna (37, -176), (42, -550), (44, -688), (52, -311), (52, -529), (53, -444), (59, -173), (59, -219), (65, -406), (66, -315), (69, -216). Data från Maskin 2, de 142 första buntarna (exklusive bortrensade).

I Figur 2 visar x-axeln DBH för den första flerträdsfällda stammen. På y-axeln ses den procentuella skillnaden i volym, mellan den skattade volymen hos buntan vid flerträdshantering och den skördarkontrollmätta volymen för de enskilda stammarna i samma bunt. Analysen bygger på data från första halvan av maskinens totala insamling av testdata. För den andra halvan av testerna användes den linjära anpassningen för att kalibrera maskinens skattade volym. Sedan jämfördes de justerade flerträdsvolymerna, precis som tidigare, med kontrollmätta volymer. Denna procedur upprepades för alla fyra maskiner. Samtliga maskiner uppvisar samma mönster med en linje som skär x-axeln vid 80–120 mm, se vidare Bilaga 2.

Tabell 6 visar kalibrerade resultat med den linjära funktionen. Observera att jämförelsen nu omfattar den andra hälften av data, varför totalvolymerna skiljer sig mot tidigare jämförelser.

Tabell 6.

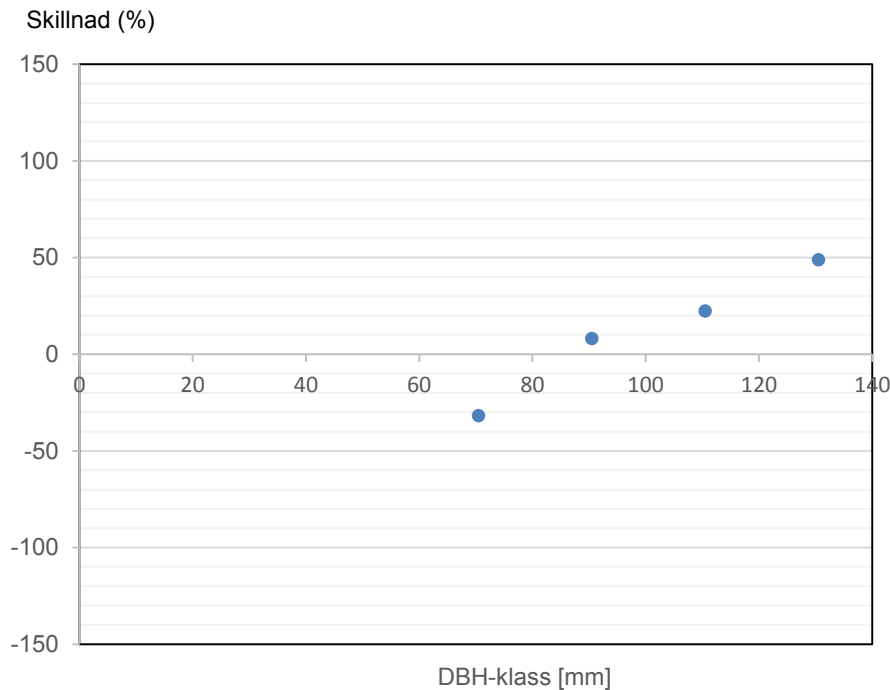
Skillnad i skattad och inmätt volym för respektive skördare. Stammar med en skattad referensdiameter på över 150 mm har rensats bort. De korrigerade volymer som redovisas är a) med "egen kurva" och b) DBH-klassindelade. Negativa siffror betyder att skördaren vid flerträdsberäkning skattat en lägre volym än kontrollen.

Skördare #	Enkelträds-mätt volym	Flerträds-volym		Korrigerad volym – egen kurva (flerträd)		Korrigerad volym – DBH-klasser (flerträd)	
	[m³fub]	[m³fub]	[%]	[m³fub]	[%]	[m³fub]	[%]
1	8,0	7,7	-3,9	7,9	-1,3	8,1	1,2
2	12,3	12,2	-0,8	12,0	-2,5	11,9	-3,4
3	3,9	3,6	-8,3	3,7	-5,4	3,7	-5,4
4	7,4	7,4	0,0	7,4	0,0	7,3	-1,4
Totalt	31,6	30,8	-2,6	31,1	-1,6	31,0	-1,9

Not: För kalibrering med "egen kurva" har den senare hälften av data från testkörningen kalibrerats med den linjära funktion som tagits fram ur första halvan av materialet för respektive maskin. För DBH-klassindelade data har medelvärdet i skillnad per DBH-klass applicerats på den andra halvans mätningar.

För Maskinerna 1 och 3, som uppvisade störst procentuell skillnad mellan skattad flerträdsvolym och enkelträds-mätt volym innan korrigering har kalibreringen haft en positiv effekt. För Maskin 2 blev resultatet i stället en något försämrad skattning genom den beskrivna korrigeringsmetoden jämfört med kontrollen, men alla maskiner hamnar fortfarande inom 5 % från den enkelträds-mätta volymen.

I nästa steg delades testerna återigen upp i två delar. Den här gången fördelades stammarna i DBH-klasser. Därefter beräknades en genomsnittlig skillnad i volym per DBH-klass. Figur 3 visar ett exempel på resultat från beräkningen. Medelvärdet för skillnaden per DBH-klass och maskin utnyttjades sedan för att korrigera den andra halvans mätningar. Effekterna av den här korrigeringsmodellen redovisas också i Tabell 6. Även indelningen i DBH-klasser ger en positiv effekt på det sammanlagda felet. Analogt med tidigare kalibrering, blir effekten störst för de maskiner som hade störst procentuell skillnad mellan skattad och inmätt volym. För övriga maskiner sker återigen en liten försämring av träffsäkerheten, men resultatet för alla de testade maskinerna hamnade fortfarande inom ett maximalt intervall på ± 5 %, vilket kan anses vara bra med tanke på det begränsade, men varierande datamaterialet. Notera också att den maskin med störst procentuell skillnad mellan skattad och inmätt volym, också är den som mätt in minst antal träd. Vid ytterligare tester från den maskinen skulle förmodligen en ökad träffsäkerhet kunna ses.



Figur 3.
Medelvärde av procentuell skillnad i volym plottad mot DBH-klass. Varje punkt motsvarar en 2 cm DBH-klass. En punkt ligger utanför området som täcks av figuren, den har koordinaten (46, -228). Data från Maskin 2, de 142 första buntarna (exklusive bortrensade).

Diskussion

Båda kalibreringsmetoderna, med egen kurva respektive uppdelat i DBH-klasser, gav förbättrad noggrannhet för volymsskattningen i flerträdshandtering. Båda metoderna korregerade de maskiner som uppvisade störst fel, medan de maskiner som låg nära en korrekt uppskattning endast påverkades marginellt. Eftersom de två kalibreringsmetoderna gav jämförbara resultat förbättringar rekommenderas metoden som bygger på DBH-klasser, då denna gav en snabbare omställning mellan olika typer av skog. Går maskinen in i en skog med relativt likvärdiga stammar i en eller ett par DBH-klasser, kommer det dröja innan metoden med anpassning mot egen kurva anpassat sig till den aktuella dimensionsfördelningen, eftersom övriga klasser förblir opåverkade. En tänkbar lösning är ett system där även DBH-klasserna påverkas av närliggande klasser, eftersom det bör finnas ett linjärt samband mellan klasserna, och då ett sådant tillvägagångssätt snabbare justerar sig till nya förutsättningar. För att med ökad säkerhet kunna avgöra hur metoden bör se ut, samt hur stora stickprov som bör ligga till grund för uppbyggnaden av densamma, behövs fler och mer omfattande tester. Detta undersöks bäst tillsammans med en eller flera maskintillverkare.

JÄMFÖRELSE MED TRAVMÄTNING VID TERMINAL

För att sätta resultaten i ett sammanhang jämförde vi differensen i skördarnas enkelträdsinmätning med travmätning vid terminal. Fridh (2013) jämförde travmätning av bränsleved på lastbil uppmätt vid mätbrygga och från mark. Då travmätning från mätbrygga i genomsnitt gav ett bättre resultat än från mark, jämför vi de redovisade resultaten från skördarnas volymbestämning vid flerträdsavverkning med dessa mätningar. Resultaten visade att för mätare från VMF, blev kvoten mellan vedvolym vid travmätning och kontrollerande referensmetod i genomsnitt 0,949 och varierade mellan 0,933 och 0,967. Variationskoefficienten varierade mellan 4,1 % och 9,4 %, se Bilaga 3.

Sammanställningar av massavedsmätning vid industri (pers. kom. Maria Nordström) från de olika VMF-föreningarna i landet visar att standardavvikelsen för travmätning av massaved vid industrin varierar inom intervallet 5–7 % på travnivå.

Resultaten från skördarmätningarna (Tabell 7), visar att maskinerna i genomsnitt gav en kvot mellan skattad och enkelträdsräknad volym för samtliga buntar i testerna på 0,97, varierande mellan 0,92 och 1,00. Maskin 3, som uppvisar en kvot på 0,92, är den som körts i minst antal tester. Förmodligen hade dess kvot förbättrats om den samlat in mer data. Efter korrigering med hjälp av DBH-klasser höjs den genomsnittliga kvoten till 0,98, med en variation från 0,95 till 1,01. Variationskoefficienten, α , ligger runt 45 %, såväl innan som efter korrigering.

Tabell 7.

Standardavvikelse för enskild buntvolym i m³fpb och %, samt kvot mellan skattad och inmätt volym för respektive skördare innan respektive efter korrigering efter DBH-klasser. Observera att skördarna har mätt in olika stor volym, se Tabell 6.

Skördare #	Innan korrigering	Innan korrigering	Efter korrigering	Efter korrigering	Förbättring	Innan korrigering	Efter korrigering
	standardavvikelse					kvot	kvot
	[m ³ fpb]	[%]	[m ³ fpb]	[%]	procentenheter		
1	0,03	31,33	0,03	30,10	1,23	0,96	1,01
2	0,04	51,81	0,05	54,16	–2,35	0,99	0,99
3	0,03	39,88	0,03	43,16	–3,28	0,92	0,95
4	0,07	55,55	0,07	53,38	2,17	1,00	0,99
Totalt	0,04	44,64	0,04	45,20	–0,56	0,97	0,98

För att kunna jämföras har skördarmätningarna i Tabell 7 räknats om till att motsvara en trave (15 m³fub, omräknat till 16,8 m³fpb). Medelfelet per trave är definierat som variationskoefficienten delat med roten ur antalet observationer.² Dessutom redovisas vilken volym som krävs för att ett medelfel på 1 % ska erhållas. I genomsnitt har de fyra skördarna ett medelfel per trave på 3,4 %, och det krävs 210 m³fpb, d.v.s. 12,5 travar, för att nå ett medelfel på 1 %, förutsatt att det inte finns några systematiska fel. Som jämförelse krävs för manuell travmätning med en standardavvikelse på i genomsnitt ca 6 % motsvarande 36 travar eller drygt 600 m³fpb för att nå samma noggrannhet.

² För en beskrivning av de formler som använts vid beräkning, se Bilaga 3.

Tabell 8.

Medelfel per trave och förväntad volym för att nå 1 % i medelfel efter korrigering, samt medelbunt och antal buntar i test för respektive maskin. Observera att skördarna har mätt in olika stor volym, se Tabell 6.

Skördare #	Medelfel per trave (15 m ³ ub)	Förväntad volym för att nå 1% medelfel	Medelbunt	Antal buntar i test
1	2,39	96,3	0,11	75
2	3,85	248,9	0,08	145
3	2,89	140,4	0,08	52
4	4,60	354,9	0,12	59
Medelvärde	3,43	210,1	0,10	82,75

FÖRARINTERVJUER

Under och efter testerna intervjuades förarna för att ge en bild av hur de tänker kring flerträdshanteringen. Totalt utfördes testerna av sju förare, två från vardera Maskin 1, 2 och 4, och en från Maskin 3. Alla förare utom en säger att de, när möjligheten finns, väljer att ta ett litet träd först vid flerträdshantering. Detta görs främst av praktiska skäl. Citat från förarna:

- *"Det klenaste först, då aggregatet ser ut som det gör."*
- *"Det är oftast lättare att ta större och större [träd]. Det är alltid bökgigare att vifta runt med ett stort träd."*
- *"Kan jag så tar jag alltid det minsta först, så är det lättare att träden följer med aggregatet."*
- *"Det är billigare att lyfta ett litet träd än ett stort träd."*
- *"Som huvudregel försöker jag ta det klena först och det grövre på slutet."*
- *"Kan jag välja tar jag klenare och sedan grövre och grövre."*
- *"Är det ett litet träd och ett stort träd så tar jag det minsta trädet först. Då har det lilla mindre risk att ramla ur aggregatet."*

Fyra av förarna påpekar att aggregatet går bättre om de börjar med ett litet träd, medan tre säger att trädordningen inte spelar någon roll för aggregatet, utan att placeringen av träden i aggregatet är viktigare. Om förarna konsekvent började med det minsta trädet i bunten skulle detta alltså leda till flerträdsvolymerna ständigt skulle bli underskattade, något som för vissa gäller som rådande hypotes. Våra tester har dock visat att så inte är fallet, eftersom samtliga förare också konstaterar att det oftare är terrängen än de själva som väljer förstaträd. Det träd som står närmast maskinen blir i de flesta fall taget först.

- *"Är det ett tätt bestånd tar man den första nära sig. Mer placering än storlek avgör."*
- *"Man försöker inte jaga runt för de små, utan plocka dem där de står."*
- *"Jag tar träden mest efter hur de står i terrängen, och inte så mycket aktiva val i trädordning."*
- *"Är det väldigt stor skillnad på storlek så tar jag minsta först, är de likvärdiga så tar jag så att jag flyttar kranen så lite som möjligt."*

- *"Du ska inte hålla på och överdriva och flytta det (trädet) flera meter. Om du tappar ett träd så tappar du i produktion."*

Övriga saker som kan påverka flerträds hanteringen är bland annat val av trädslag och trädens egenskaper.

- *"Fel i trädslag kan också påverka. Man blandar inte gärna barr och björk."*
- *"Är det krånglig buntning, då tar man det stora först."*
- *"Jag går mycket på hur trädet ser ut. Är det krokigt eller har mycket kvistar så väljer jag att inte flerträds hantera det."*

SAKNAD SISTA STAM

I vissa fall, framför allt för Maskin 4, uppkom ibland ett räknefel då det saknades en sista stam bland de enkelupparbetade stammarna. I dessa fall fanns således en risk att aggregatet under flerträds hanteringen stängts en gång mer än antalet stammar, och att en bunt som enligt datafilen innehöll tre träd i verkligheten endast innehöll två träd, vilket leder till en felaktig volymsberäkning. Vi har valt att behålla dessa buntar, eftersom den här typen av fel alltid kommer att finnas, och är något vi bör räkna in i det totala felet.

JÄMFÖRELSE MELLAN BUNT VOLYMER

Volym uppskattningen av en flerträds hanterad bunt görs i dag genom att den första stammens volym multipliceras med antalet stammar i bunt. Om föraren konsekvent börjar med det minsta trädet, ger detta en underskattning av volymen, medan det motsatta gäller en förare som konsekvent börjar med det största trädet. Enligt intervju svaren ovan kunde vi sammanfatta förarnas erfarenheter med att de, om det finns ett val, oftare än motsatsen plockar det minsta trädet först, men att det i de flesta fall är terräng och bestånd som avgör trädordningen. En rimlig tolkning är att det är stor variation i vilket förstaträd som väljs, med en tendens att små träd väljs först i något fler av fallen. För att illustrera hur detta påverkar volym uppskattningen har beräkningar skett på olika kombinationer av stambuntar för de maskiner som hade genomsnittligt störst (Maskin 1) respektive minst (Maskin 4) medelvolum per bunt. För detaljer kring beräkningarna, se Bilaga 4.

Resultaten visar, att det för dessa maskiner i genomsnitt, krävs mellan tre och fyra buntar med klenare stammar för varje bunt som inleds med ett relativt sett grovt träd innan volymen åter är i jämvikt. Detta, i kombination med förarnas beskrivning av sitt tillvägagångssätt styrker vårt antagande, att det över en längre tid inte bör bli någon systematisk skillnad mellan skattad och inmätt volym. Scenario 3 visar att även om storleken på förstaträd varierar över tid, så kommer buntvolymen inte att avvika särskilt mycket om ungefär samma medelbunt behandlas varje gång. En av förarna berörde detta under intervjun:

"Är det väldigt tätt med stammarna så att en måste gå in två gånger för att få med allihop, så försöker en få så lika diameter som möjligt i båda buntarna; till exempel fem klena först och tre grövre senare."

VARFÖR EN KALIBRERINGSMETOD BÖR INFÖRAS

Denna rapport visar att det genom kalibrering går att öka träffsäkerheten i skördarnas skattning av volym vid flerträdshantering. Som väntat förbättras resultaten mest för de maskiner som innan kalibrering låg längst ifrån det korrekta resultatet. För de två maskiner som redan gjorde en god skattning av virkesvolymen, ledde korrigeringen till ett något försämrat resultat, dock i båda fallen inom en låg och bedömningsvis acceptabel felmarginal. För att minimera skattningsfelen vid flerträdshantering anser vi att en kalibreringsmetod för flerträd bör införas. Det finns flera argument för detta:

- 1) Kalibrering leder till att träffsäkerheten för volymsuppskattningen vid flerträdsupparbetning förbättras, vilket leder till säkrare skördarrapportering.
- 2) Skördarlagen ersätts ofta baserat på medelstam och volym och då är det viktigt att mätningen är kalibrerad och kontrollerad.
- 3) Korrekta volymsuppgifter är viktiga indata för skogsföretagens logistikfunktioner och system.
- 4) Intresset att ersätta virket baserat på skördarmätta volymer ökar. Då är det viktigt att skattning av volym vid flerträdshantering är välfungerande och att metoden har affärsparternas förtroende.
- 5) För att programmet automatisk gallringsuppföljning, som Skogforsk tillhandahåller, ska vara tillförlitligt är det viktigt att kontrollera att flerträdsvolymerna är korrekta.

Slutsatser

Studien visar att:

- Kalibrering kan förbättra resultatet. I studien uppmättes en förbättring på ca 1 procent, vilket medförde att volymerna för de studerade fyra maskinerna i flerträdsskattning hamnade inom ± 5 procent från den enkelträdsräknade volymen.
- En beskriven och kontrollerbar kalibreringsrutin skapar trygghet för volymräkning med skördare vid flerträdsavverkning. Den föreslagna metoden ger förutsättningar till successiv korrektion av räknningarna. En maskins volymmätning under en längre period, exempelvis några månader, bör inte ha några större systematiska fel.

Tillverkarna bör införa en kalibreringsmetod för:

- Flerträdshantering där systemet slumpar ut stambuntar för kontroll.
- Lämpligtvis låses systemet innan kap av första stambunt. Dessa träd körs sedan ett och ett genom aggregatet.
- Volymsskillnaden mellan flerträdsvolym och enskilt upparbetade stammar ligger sedan till grund för en kalibreringskurva baserat på första stammens DBH.
- Kalibreringskurvan bör vara adaptiv och exempelvis de senast 5-10 buntarna per 1-2 cm DBH-klass kan ingå.
- Frekvensen för slumpning av buntar bör kunna ställas baserat på resultat, men en tänkbar startfrekvens kan vara en bunt per 50-100 buntar.
- För att kunna beskriva metoden i ytterligare detalj krävs fler tester.
- Kontroll av referensdiameter även för enkelträd.
(Mätning av diameter på höjd för referensdiameter vid kontrollmätning).

Tillverkarna bör införa ytterligare filtreringsmetoder:

- Flerträdshandlade träd med en referensdiameter/DBH grövre än exempelvis 150 mm bör kontrollmätas extra i aggregatet. Till exempel kan en sådan stam automatiskt generera extra mättid (tryck) i systemet och/eller generera en kontrollfråga huruvida flerträdshantering verkligen sker.
- Den referensdiameter som mäts upp vid andra eller tredje kapet används om den understiger referensdiameteren vid första kapet.
- För att systemet ska fungera är det viktigt att maskinens mätsystem för enkelträdshantering är väl kalibrerat.
- Antalet träd som ingår i det adaptiva minnet bör avvägas med hänsyn till om skördarlagen flyttar mycket mellan olika typer av avverkningar.

- En kalibreringsmetod är viktig för att entreprenörer och skogsföretag ska känna förtroende för metoden och för att den ska kunna användas vid ersättning till entreprenörer och som underlag vid köp av virke.
- Resultatet visar att mätmetoden för flerträdsräkning kalibrerad för systematiska fel troligtvis håller minst lika hög nivå som traditionell trädmätning vid industrin.

Referenser

Bhuiyan, N., Arlinger, J., & Möller, J. 2011. Utveckling och utvärdering av en standardiserad metod för volymsbestämning och stamräkning vid avverkning med flerträdsanordnade skördaraggregat. Arbetsrapport från Skogforsk Nr 747, 2011.

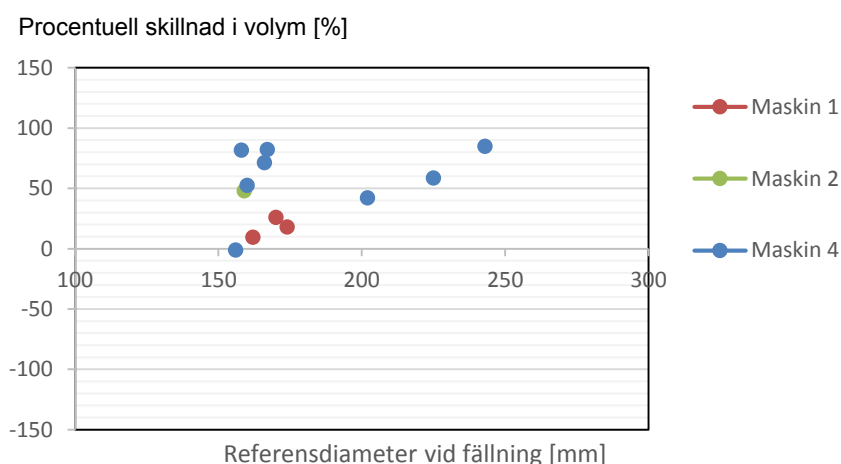
Fridh, L. 2013. Kvalitetssäkrad partsräkning av bränsleved vid terminal, Arbetsrapport från Skogforsk Nr 794, 2013.

PERSONLIG KOMMUNIKATION

Nordström M., Skogforsk.

Skillnad i volym vid referensdiameter över 150 millimeter

Figuren a., nedan visar det procentuella felet i volym för de 12 buntar som mätts in med en referensdiameter större än 150 mm. I snitt är överskattningen runt 50 %, men som synes så varierar det från ca 10 % till över 80 %. Bunt som ligger runt 0 % är en bunt där det fanns ett motsvarande enkelträd inmätt på över 150 mm, och är således korrekt.



Figur a.

Den procentuella skillnaden i volym plottad mot referensdiameter hos första flerträdsfällda stam per bunt. Varje blå punkt motsvarar en bunt. Data från Maskin 1, 2 och 4, 12 buntar.

För Maskin 1 och 2 fanns endast ett fåtal buntar med referensdiameter större än 150 mm, och i dessa fall var den därefter påföljande grövsta, enkelträds-mätta stammen mellan 10 och 25 mm klenare. En tänkbar förklaring till detta är att kvistknivarna inte stängts ordentligt innan kapning. För Maskin 4 saknas i fem fall en stam av flerträden, jämfört med antalet enkelträds-mätta stammar. Detta indikerar att skördaren gripit över två stammar vid flerträdsfällningen, som sedan mätts in separat, något som också diametermätningen bekräftar. Övriga buntar hade 2, 57 och 63 mm differens mot de enkelträds-mätta stammarna. Där är 2 mm en rimlig skillnad, punkt längst ned i Figur a, medan de övriga två i enlighet med ovan skulle kunna förklaras med att kvistknivarna inte stängts ordentligt innan kapning.

Resultaten visar således att det i första hand finns två möjliga förklaringar till varför stammar över 150 mm ofta uppvisar en stor differens mot förväntad volym:

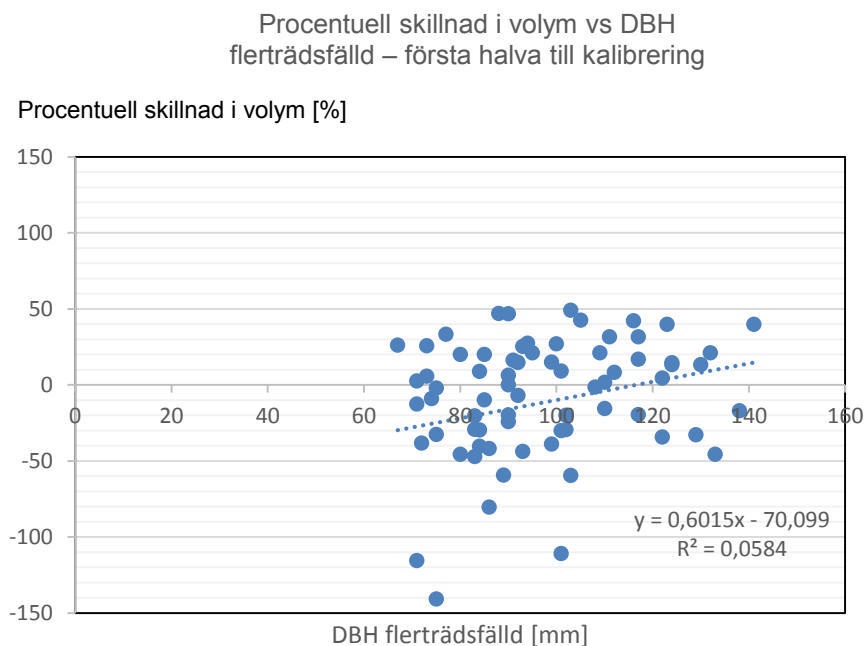
1. Kvistknivarna har inte varit stängda ordentligt.
2. Aggregatet har gripit över två stammar, som registrerats som en stam.

Detta leder till fel i volymsberäkningen, och bör därför kontrolleras extra. Exempelvis kan flerträdshanterade träd med en referensdiameter grövre än 150 mm automatiskt generera extra mättid i systemet och/ eller generera en kontrollfråga huruvida flerträdshantering verkligen sker.

Bilaga 2

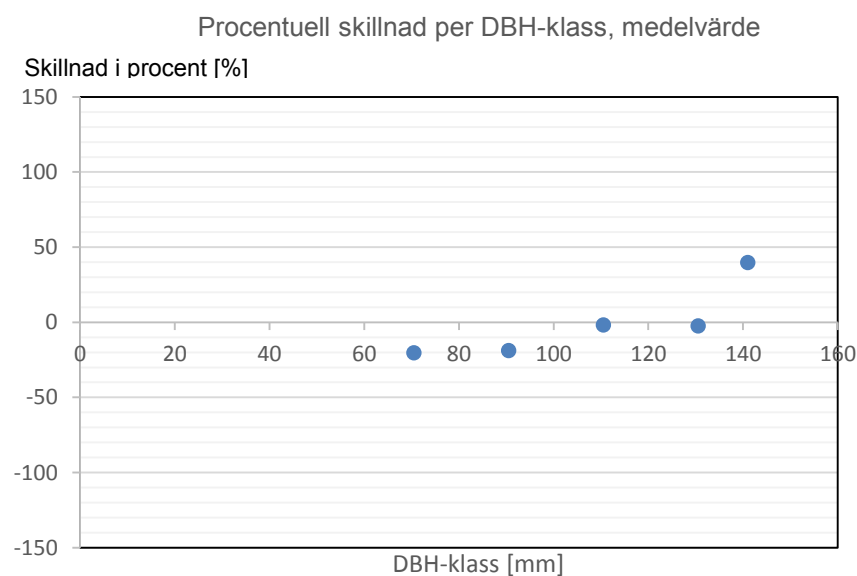
Kalibrering mot egen kurva samt indelning i DBH-klasser, Maskin 1, 3 och 4.

Här redovisas övriga maskiners resultat, i enlighet med vad som visas för Maskin 2 i Figur 2 och 3.



Figur a.

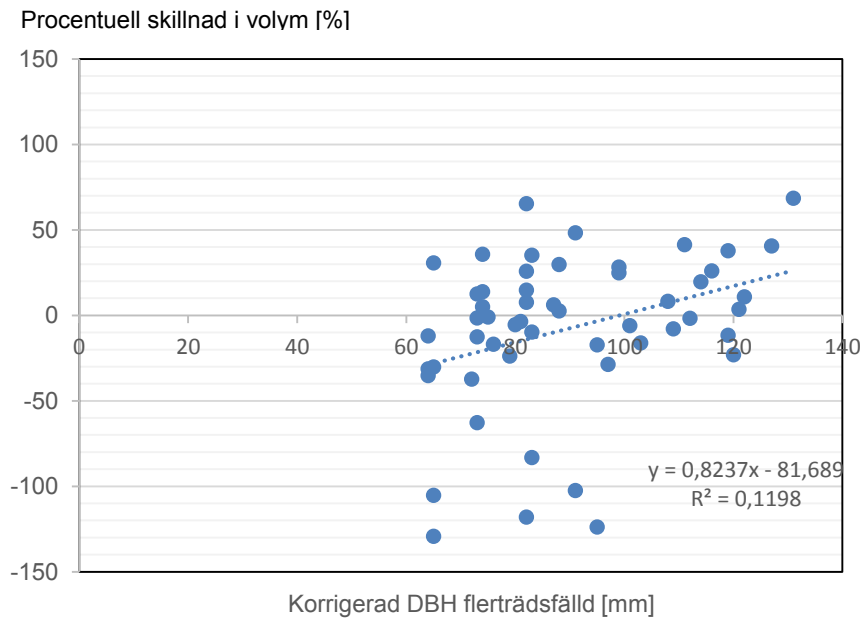
Den procentuella skillnaden i volym plottad mot DBH på första flerträdsfällda stam per bunt. Varje blå punkt motsvarar en bunt. Den streckade linjen är en linjär anpassning till punkterna, och dess ekvation anges i högra hörnet. Två buntar ligger utanför grafen, de har koordinaterna (87, -169) och (90, -157). Data från Maskin 1, 78 buntar.



Figur b.

Medelvärdet av den procentuella skillnaden i volym plottad mot DBH-klass. Varje blå punkt motsvarar en 2 cm DBH-klass. Data från Maskin 1, 78 buntar.

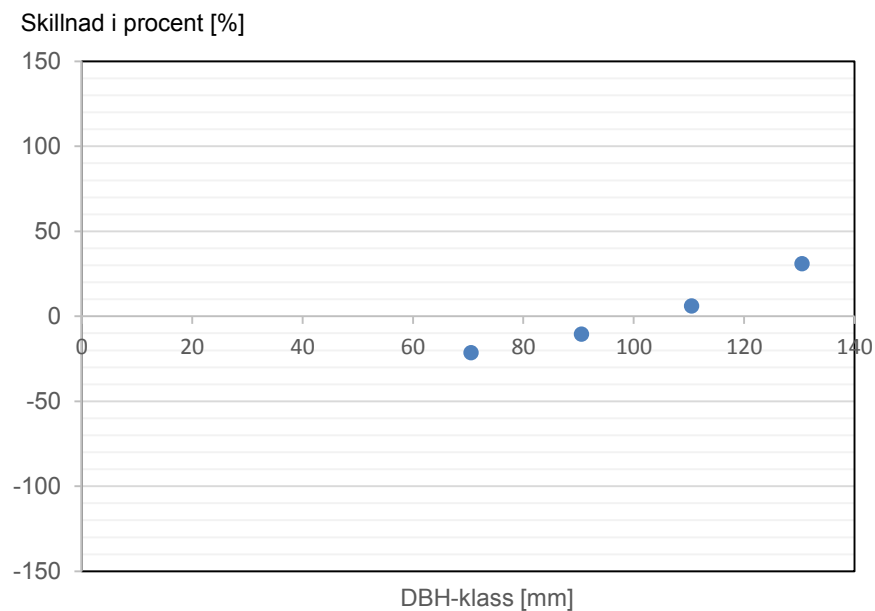
Procentuell skillnad i volym vs DBH flerträdsfälld
– första halva till korrigering



Figur c.

Den procentuella skillnaden i volym plottad mot DBH på första flerträdsfällda stam per bunt. Varje blå punkt motsvarar en bunt. Den streckade linjen är en linjär anpassning till punkterna, och dess ekvation anges i högra hörnet. Data från maskin 3, 53 buntar.

Procentuell skillnad per DBH-klass, medelvärde

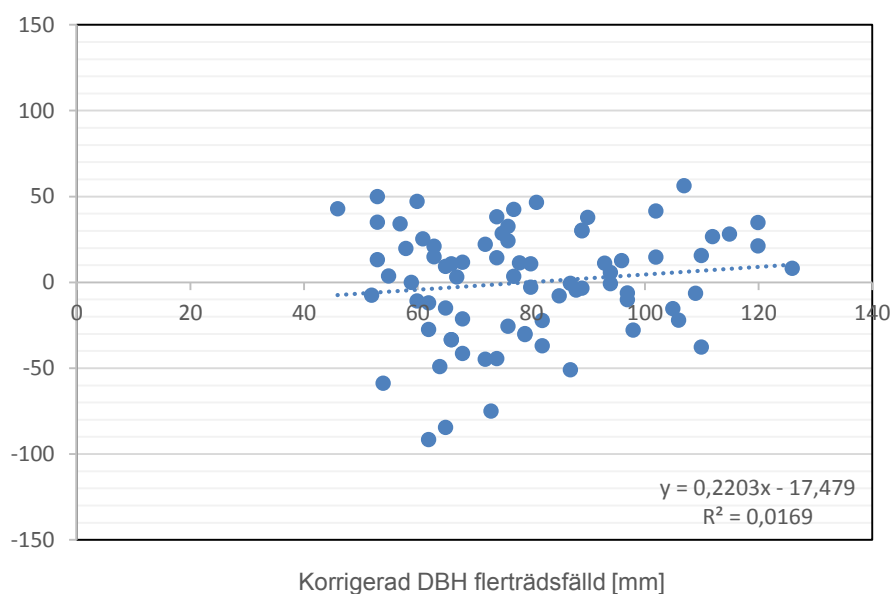


Figur d.

Medelvärdet av den procentuella skillnaden i volym plottad mot DBH-klass. Varje blå punkt motsvarar en 2 cm DBH-klass. Data från Maskin 3, 53 buntar.

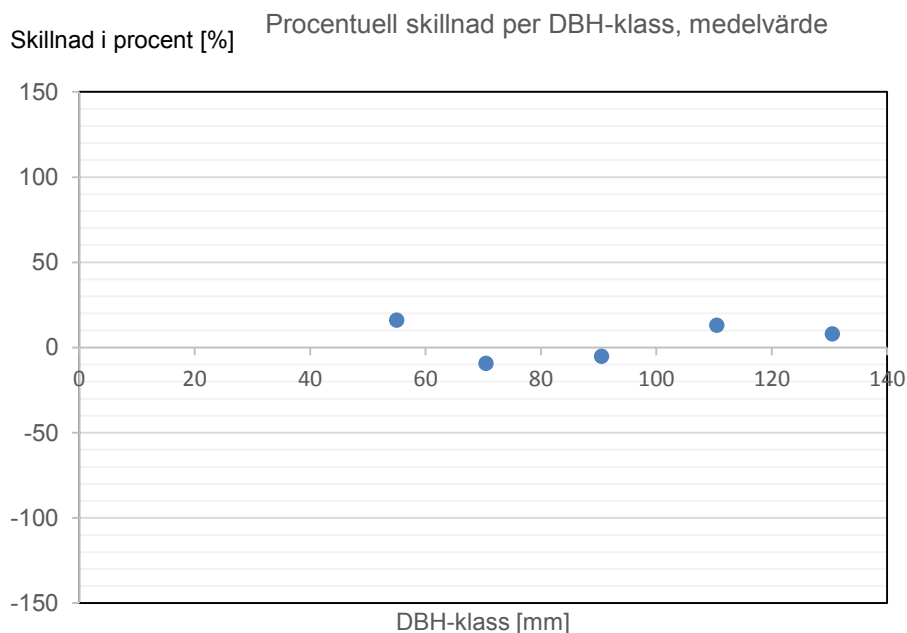
Procentuell skillnad i volym vs DBH flerträdsfällad
– första halva till korrigering

Procentuell skillnad i volym



Figur e.

Den procentuella skillnaden i volym plottad mot DBH på första flerträdsfällda stam per bunt. Varje blå punkt motsvarar en bunt. Den streckade linjen är en linjär anpassning till punkterna, och dess ekvation anges i högra hörnet. Data från maskin 4, 77 buntar.



Figur f.

Medelvärde av den procentuella skillnaden i volym plottad mot DBH-klass. Varje blå punkt motsvarar en 2 cm DBH-klass. Data från Maskin 4, 77 buntar.

Ekvationer för medelvärde och standardavvikelse

För beräkning av medelvärdet av de skattade respektive inmätta volymerna har följande formel tillämpats:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad \text{där} \quad \begin{cases} \bar{x} = \text{medelvärdet av observationer,} \\ x = \text{enskild observation,} \\ n = \text{antal observationer.} \end{cases}$$

Standardavvikelsen, σ , är beräknad enligt

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_n - \bar{x})^2}{n}}.$$

Genom att kombinera medelvärdet och standardavvikelsen kan variationskoefficienten, cv , beräknas enligt

$$cv = \frac{\sigma}{\bar{x}}.$$

Medelfelet uttrycks sedan som

$$\varepsilon = \frac{cv}{\sqrt{n}} \quad \text{där} \quad \begin{cases} \varepsilon = \text{medelfelet i \%}, \\ cv = \text{variationskoefficienten,} \\ n = \text{antal observationer,} \end{cases}$$

vilket leder till att antal observationer för att uppnå ett givet medelfel kan beräknas enligt

$$n = \left(\frac{cv}{\varepsilon} \right)^2.$$

Skillnad i volymsuppskattning beroende på val av första stam

Här redovisas vilken påverkan på volymsuppskattningen val av första stam har, genom att beräkningar skett på olika kombinationer av stambuntar för de maskiner som hade genomsnittligen störst (Maskin 1) respektive minst (Maskin 4) medelvolum per bunt.

Buntvolymer hos respektive maskin indelades i fem olika kategorier; (1) en medelbunt, (2) bunt med minst volym, (3) bunt med högst volym, samt två mellanting; (4) en typisk stor, respektive (5) en typisk liten bunt. En typisk stor bunt är definierad som buntvolymen för ett typiskt stort träd, det vill säga ett förstaträd med DBH mellan medelvärdet och störst uppmätta DBH, och analogt är en typisk liten bunt buntvolymen för ett typiskt litet träd, d.v.s. ett förstaträd med DBH mellan medelvärdet och minsta inmätta DBH.

För att kunna ge en korrekt uppgift av de enkelträdsräknade stammarna definieras ytterligare fem volymer; en bunt bestående av en typisk stor och en typisk liten stam (volym 6), en bunt bestående av en typisk liten och en medianstam (volym 7), en bunt bestående av en typisk stor och en medianstam (volym 8), en bunt bestående av en medianstam samt minsta uppmätta stam (volym 9), samt slutligen en bunt bestående av en medianstam och grävsta uppmätta stam (volym 10). En typisk stor och en typisk liten stam definieras enligt ovan.

Beräkningarna grundar sig på det faktum att skördaren gör en volymsuppskattning utifrån det första plockade trädet. I realiteten kommer dock träd av olika DBH-klass finnas i varje bunt. Enligt uppställningen:

$$V_{uppskattad_1} + V_{uppskattad_2} * x = V_{inmätt_1} + V_{inmätt_2} * x,$$

där $V_{uppskattad_y}$ är den av skördaren skattade volym av bunt y

och $V_{inmätt_y}$ är den korrekt inmätta volymen av bunt y ,

samt x är det antal buntar som krävs innan skördarens skattade och inmätta volym överensstämmer.

Scenario 1:

Skördaren inleder med ett grovt träd; $V_{uppskattad\ 1} = \text{volym } 3$. I verkligheten tar dock föraren först ett grovt, och sedan ett medelgrovt träd; $V_{inmätt_1} = \text{volym } 10$. Hur många buntar som inleds med ett klen träd ($V_{uppskattad\ 2} = \text{volym } 2$) kan då plockas, vilket egentligen är buntar med en klen och sedan en medianstam ($V_{inmätt_2} = \text{volym } 9$), innan volymerna överensstämmer?

Maskin 1: $x = 3$

Maskin 4: $x = 4$

Scenario 2:

Skördaren inleder med ett typiskt stort träd; $V_{uppskattad\ 1} = \text{volym } 4$. I verkligheten tar dock föraren först ett typiskt stort, och sedan ett typiskt litet träd; $V_{inmätt_1} = \text{volym } 6$. Hur många buntar som inleds med ett klen träd ($V_{uppskattad\ 2} = \text{volym } 2$) kan då plockas, vilket egentligen är buntar med ett typiskt litet och ett medianträd ($V_{inmätt_2} = \text{volym } 7$), innan volymerna överensstämmer?

Maskin 1: $x = 3,5$

Maskin 4: $x = 3,7$

Scenario 3:

Skördaren inleder med ett typiskt stort träd; $V_{uppskattad\ 1} = \text{volym } 4$. I verkligheten tar dock föraren först ett typiskt stort, och sedan ett typiskt litet träd; $V_{inmätt_1} = \text{volym } 6$. Hur många buntar som inleds med ett typiskt litet träd ($V_{uppskattad\ 2} = \text{volym } 5$) kan då plockas, vilket egentligen är buntar med ett typiskt stort och ett typiskt litet träd ($V_{inmätt_2} = \text{volym } 6$), innan volymerna överensstämmer?

Maskin 1: $x = 1$

Maskin 4: $x = 1$

Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2015

År 2015

- Nr 856 Widinghoff, J. 2015. Logistiklösning för delkvistat sortiment – Lätta skyddsplåtar på virkesbilar för transport av träddeklar och delkvistade sortiment. – Lightweight side-shields on timber trucks transporting partly delimbed energy wood. 15 s.
- Nr 857 Hannrup B, Bhuiyan N. Möller J.J. 2015. Rikstäckande utvärdering av ett system för automatiserad gallringsuppföljning. – Nationwide evaluation of a system for automated follow-up of thinning. 56 s.
- Nr 858 Frisk, M., Rönnqvist, M. & Flisberg, P. 2015. Vägrust – Projektrapport. 2015. – Vägrust – Project Report. 48 s.
- Nr 859 Asmoarp, V. & Jonsson, R. 2015. Fokusveckor 2014. Bränsleuppföljning för tre fordon inom ETT-projektet, ST-RME, ETT1 och ETT2. – Monitoring fuel consumption of three rigs in the ETT project: ST-RME, ETT1 and ETT2 42 s.
- Nr 860 Johannesson, T. 2015. Ny teknik för askåterföring i skogsmark. – New technology for ash recycling on forest floor. 14 s.
- Nr 861 Asmoarp, V., Nordström, M. & Westlund, K. 2015. Stämmer väglagervolymer? – En fallstudie inom projektet "Skogsbrukets digitala kedja". – "Are roadside stock volumes correct? – A case study in the Digital Chains in Forestry project. 17 s.
- Nr 862 Möller, J.J., Bhuiyan, N. & Hannrup, B. 2015. Utveckling och test av beslutsstöd vid automatiserad gallringsuppföljning. – Development and test of decision-support tool for automated monitoring of thinning 38 s.
- Nr 863 Jonsson, R. 2015. Prestation och kvalitet i blädning med skördare och skotare. – Performance and costs in selective harvesting with harvester and forwarder. 27 s.
- Nr 864 Englund, M., Adolfsson, Niklas, Mörk, A., & Jönsson, P. 2015. Distribuerad arbetsbelysning – LED öppnar nya möjligheter för belysning hos arbetsmaskiner. – Distributed work lighting – LED lamps improve lighting on forest and agricultural machines. 20 s.
- Nr 865 Hofsten von, H. & Funck, J. 2015. Utveckling av HCT-fordon i Sverige. – HCT, heavier vehicle, truck design, ST, ETT. 28 s.
- Nr 866 Fridh, L. 2015. Utvärdering av fukthaltsmätare PREDIKTOR Spektron Biomass. – Evaluation of the Prediktor Spektron Biomass moisture content analyser. 10 s.
- Nr 867 Fridh, L. & Öhgren, J. 2015. Förstudie Automatisk skäppmätning av flis med laser. 20 s.
- Nr 868 Eriksson, A., Hofsten von, H. & Eliasson, L. 2015. Systemkostnader, logistik och kvalitetsaspekter för sju försörjningskedjor för stubbränslen. – System costs, logistics and quality aspects relating to seven supply chains for stump fuel. 29 s.
- Nr 869 Englund, M., Lundström, H., Brunberg T. och Löfgren, B. Utvärdering av Head up-display för visning av apteringsinformation i slutavverkning. 15 s.
- Nr 870 Löfroth, C. 2015. ETTaero – En förstudie av aerodynamisk utformning av skogsfordon. – A pilot study of aerodynamic design of forest vehicles 32 s.
- Nr 871 Grönlund, Ö., Iwarsson Wide, M., Hjerpe, T. och Sonesson, J. 2015. Skadeförekomst efter tidig gallring. . – Damage after early thinning. 14 s..
- Nr 872 Fogdestam, N. & Löfroth, C. 2015 ETTdemo, demonstration av ETT- och ST-fordon. – ETTdemo, demonstration of ETT- and ST-vehicles. 34 s.
- Nr 873 Fridh, L. 2015. Produkttegenskaper för skogsbränsle. – Förslag till indelning, struktur och definitioner. – Forest fuel product characteristics- proposal for categories, structure and definitions. 46 s.

Nr	874	Enström, J. 2015. Möjligheter till inrikes sjötransporter av skogsbränsle. – Possibilities for coastal maritime transport of forest fuel in Sweden. 22 s.
Nr	875	Grönlund, Ö. & Iwarsson Wide, M. 2015. Uttag av skogsbränsle vid avveckling av låg skärmar av björk. – Harvest of forest fuel when birch shelterwoods are removed. 15 s.
Nr	876	Jacobson, S. 2015. Lågskärm av björk på granmark – Modellering av beståndsutveckling och ekonomisk analys. – The use of birch as a shelter in young Norway spruce stands – Modelling stand development and economic outcome. 39 s.
Nr	877	Grönlund, Ö., Iwarsson Wide, M., Englund, M. & Ekelund, F. 2015. Sektionsgallring en arbetmetod för täta klena gallringar. – Thinning in Sections – a work method for small-tree harvest. 17 s.
Nr	878	Eliasson, L. & Nilsson, B. 2015. Skotning av GRO'T direkt efter avverkning eller efter hyggeslagring. – Forwarding of logging residue immediately after felling or after stor age on the clear-cut. – Effects on nutrient extraction, needle shedding, and moisture content. 10 s.
Nr	879	Eriksson, B., Widinghoff, J., Norinm K. & Eliasson, L. 2015. Processkartläggning – Ett verktyg för att förbättra försörjningskedjor. – Process mapping – a tool for improving supply chains. 46 s.
Nr	880	Möller, J.J., Nordström, M. & Arlinger, J. 2015. Förbättrade utbytesprognoser. – En förstudie genomförd hos SCA, Sveaskog och Södra. – Improved yield forecasts – a pilot study by SCA, Sveaskog and Södra. 14 s.
Nr	881	von Hofsten, H. 2015. Vägning med hjälp av inbyggda vågar i fjädringen på lastbilar. – Payload weighing using onboard scales connected to the air suspension of trucks. 10 s.
Nr	882	Rosvall, O., Kroon, J. & Mullin, T.J. 2015. Optimized breeding strategies at equivalent levels of population diversity. 61 s.
Nr	883	Högbom, L. & Rytter, R.-M. 2015. Markkemi och fastläggning av C och N i bestånd med snabbväxande trädslag - Etapp 2. – Slutrapport till Energimyndigheten 2015. – Soil chemistry and C and N sequestration in plantations with fast-growing tree species – Phase 2. – Final report to The Swedish Energy Agency 2015. 17 s.
Nr	884	Hannrup, B., Andersson, M., Henriksen, F., Högdahl, A., Jönsson, P. & Löfgren, B. 2015. Utvärdering av V-Cut – en innovation med potential att minska förekomsten av kapsprickor. – Evaluation of V-Cut – an innovative saw bar with potential to reduce the occurrence of bucking splits. 32 s.
Nr	885	Willén E. & Andersson, G. 2015. Drivningsplanering. En jämförelse mellan sju skogsföretag – A comparison of seven forest companies 2015. 31 s. + Bilaga 2-8.
Nr	886	Johansson, F. 2015. Kontinuerlig uppföljning av drivmedelsförbrukning och lastfyllnadsgrad för ETT- och ST-fordon 2014. – Continual monitoring of fuel consumption and load utilisation of ETT and ST vehicles 21 s.
Nr	887	Högberg, K.A. 2015. Selektionseffekter vid förökning av gran med somatisk embryogenes. – Selection effects of somatic embryogenesis in propagation of Norway spruce. 11 s.
Nr	888	Enström, J. & von Hofsten, H. 2015. ETT-Chips 74-tonne trucks – Three 74-tonne chip trucks monitored in operation over one year. 23 s.
Nr	889	Rytter, L., Stener, L.G. 2015. Gråal och hybrid alder.-En potential för ökad energiinriktad produktion i Sverige. – Grey alder and hybrid alder-Potentials for increased biomass production for energy in Sweden. 28 s.
Nr	890	Asmoarp, V. & Enström, J. 2015. Fokusveckor 2015-Bränsleuppföljning för ETT 74 tons flisfordon inom projektet ETT-Flis. – Focus Weeks 2015 Monitoring fuel consumption of a 74-tonne chip truck in the ETT project. 25 s.
Nr	891	Johannesson, T., Enström J. & Ohls, J. 2015. Test av paraffinolja för att motverka fastfrysning av flis i containrar. – Test of paraffin oil to prevent wood chips freezing onto surfaces in steel containers. 5 s.

År 2016

- | | | |
|----|-----|--|
| Nr | 892 | Ågren, K., Hannrup, B., Jonsson, R., Jönsson, P., Lundström, H. och Nordström, M. Utvärdering av dimensionsmätning och förekomst av kapsprickor vid avverkning med Komatsu X19. – Evaluation of measurement quality and frequency of bucking splits in harvesting with the Komatsu X19 Harwarder. 21 s. |
| Nr | 893 | Ågren, K., Möller, J. J. och Bhuiyan, N. 2016. Utveckling av en standardiserad metod för kalibrering av volymsbestämning vid avverkning med flerträdshanterande skördaraggregat. – Development of a standardised method for calibrating volume measurements when using a multi-tree handling harvester head. 27 s. |

SKOGFORSK

– Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut

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

FORSKNING OCH UTVECKLING

Två forskningsområden:

- Skogsproduktion
- Virkesförsörjning

UPPDRAG

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

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

KUNSKAPSFÖRMEDLING

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

Från Skogforsk nr. 893–2016



www.skogforsk.se