

Utveckling och utvärdering av en metod för kalibrering av flerträdshanterad volym

Martin Whillans, Johan J Möller och Björn Hannrup



Bild: Skogforsk.

Innehåll

Förord	4
Summary	5
Sammanfattning	7
Definition av centrala begrepp	9
Bakgrund	10
Syfte och mål	10
Material och metoder	11
Modellutveckling	11
Utveckling hos maskintillverkaren och arbetsflöde i maskinen.....	13
Anpassning av funktioner i skördarnas styrsystem	13
Förarens arbetsflöde	14
Studieobjekt.....	15
Datainsamling	15
Kontroll av skördarnas längd- och diamettermätning.....	16
Analys och beräkningar.....	16
Volymjämförelse	17
Resultat	17
Medelvärden.....	17
Samband mellan flerträdsvolym och kontrollvolym	19
Utveckling av kalibreringsfaktorn inom objekt	22
Utveckling av kalibreringsfaktorn mellan objekt	24
Jämförelse med volym inmätt vid industri	26
Förarnas synpunkter på modellen	29
Val av kalibreringsmodell för praktisk implementering.....	29
Modell 1. Kalibrering av volym per objekt.....	30
Fortsatt utveckling	31
Referenser	32
Personlig kommunikation	32
Bilaga 1 - Kravspecifikation	33
Bilaga 2 - Mätningens kvalitet	34
Bilaga 3 - Transskript av förarintervjuer.....	35
Förare 1 – maskin 1.....	35

Kontrollfrekvens	35
Om studieobjektens beskaffenhet	35
Om referensstammen.....	35
Förare 2 – maskin 2.....	35
Kontrollfrekvens	35
Om studieobjektens beskaffenhet	36
Om referensstammen.....	36
Övrigt	36
Förare 3 – maskin 2.....	36
Kontrollfrekvens	36
Om studieobjektens beskaffenhet	36
Om referensstammen.....	36
Övrigt	36



Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala
skogforsk@skogforsk.se
skogforsk.se

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts Maria Iwarsson Wide, programchef Värdekedjor, 29 augusti 2024. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, granskat och godkänt publikationen för publicering 23 augusti 2024.

Redaktör: Anna Franck, anna@annafranck.se
©Skogforsk 2024 ISSN 1404-305X

Förord

Denna rapport är utarbetad inom ramen för projektet ”Utveckling av kalibrerings- och kontrollmetod vid volymbestämning av flerträdshanterade stammar”. Projektet har finansierats av medel från Stiftelsen Seydlitz MP bolagen och från Skogforsks ramanslag. Projektet har syftat till att föreslå en metodik och kalibreringsmodell för att hantera eventuella systematiska fel som kan uppstå vid volymbestämning vid flerträdshantering.

Den framtagna modellen har implementerats i en maskintillverkares styrsystem för utslumpning av flerträdshanterad volym till kontrollmätning med skördare. Avrapporteringen från projektet består av en rapport med en beskrivning av kalibreringsmodellen, en utvärdering av metoden samt ett förslag på implementering av metoden.

Erik Kindlund, Jonas Lindström, Marko Laine och Antti Korkiakoski, samtliga John Deere, har bidragit med tekniskt stöd och värdefulla anpassningar till maskinstyrsystemen. Jonas Gustavsson, Sveaskogs Förvaltning AB, och Marko Alm, Stora Enso Skog AB, har bidragit med värdefulla uppgifter från företagens produktionsdata. Mikael Larsson, Önskebohyttan Skogsentreprenad, Joakim Larsson och Jakob Magnusson, Per-Hans Skogsentreprenad, har bidragit med värdefull utvärdering av modellen från skördarförarperspektivet.

Projektet har varit organiserat med en projektgrupp som har bestått av Martin Whillans, Björn Hannrup och Johan J Möller, samtliga från Skogforsk, samt av John Arlinger, JDA Forest AB.

Projektgruppens utarbetning av en kravspecifikation vid studiens inledning har varit vägledande vid framtagningen av kalibreringsmodellen. Henrik Persson, Logmax, Fredrik Tjernberg, Komatsu och Erik Kindlund, John Deere, har bidragit med värdefulla synpunkter och erfarenheter vid utformning av kravspecifikationen.

Ett stort tack till samtliga som bidragit till studiens genomförande!

Uppsala 2024

Martin Whillans (Projektledare)

Summary

Volume determination in single-tree processing is well established and based on the harvester head's contact measurement of stem length and diameter. Multi-tree handling does not allow for continuous measurement of length and diameter of individual stems, since multiple stems are accumulated in a tree bundle. The volume determination in multi-tree handling is instead based on the breast height diameter of the first harvested stem in a bundle, the volume of previously harvested trees of the same size, and the number of trees in the bundle. Use of multi-tree handling is currently limited because volume determination is perceived as uncertain and may contain systematic errors. Improved volume determination in multi-tree handling would stimulate increased use of this processing method and expand opportunities to use the harvester's total volume determination as a basis for compensation to forest owners and remuneration to logging contractors.

The purpose of the study was to develop and test a method for calibrating systematic errors in volume determination of multi-tree handled stems in collaboration with harvester manufacturers. In the study, a model was developed where multi-tree handled bundles were randomly selected for subsequent control measurement. The signal to the operator that a multi-tree bundle had been randomly selected was given when all stems were accumulated, and processing was about to begin. The control measurement was performed by the operator releasing the stems in the control bundle and then processing them as individual stems. This meant that for all control bundles, two volume determinations were generated: one from multi-tree handling and one from single-tree processing.

In the study, John Deere implemented the methodology in its control system, and adaptations were made to the StanForD2010 standard to store the necessary data in the harvesters' production (hpr) and quality control files (hqc). The methodology was tested over three months with two harvesting teams working for Sveaskog and StoraEnso. The material included data from 12 logging objects, corresponding to 205 hectares and a logging volume of 12,000 m³sub, of which 2,070 m³sub was multi-tree handled. From nine of the 12 logging objects, measurement data from Biometria was obtained, which was used as a comparative reference in the study.

For calibration of all multi-tree handled bundles, data from the randomly selected control bundles and the relationship between the volume determination from multi-tree handling and single-tree processing were used, with the latter considered as the true volume determination. Various calibration factor variants were calculated and evaluated, where the critical difference between the two main variants was whether the factor calculation was continuous and independent of the control bundles' object affiliation or based on control bundles from each object. In a final analysis, total object volumes from measurements at receiving industries were compared with corresponding total volumes from the harvesters, where the original volume determination for the multi-tree handled bundles had been calibrated.

The analysis results can be summarized as follows:

- The proposed model allows for monitoring operators' work patterns. For example, in the study, the operator of machine 1 systematically chose a relatively thin stem as the first stem in the multi-tree bundles, while the operators of machine 2 chose the first stem regardless of size class.
- The initially used random selection frequency for control bundles of 5% was too high to avoid negatively impacting productivity. A more practically realistic level is a random selection frequency of 1% or lower.

- For the individual control bundles, there was a large variation in the calibration factor value, i.e., the ratio between the volume determination from single-tree processing and that from multi-tree handling. To stabilize the calibration factor, data needed to be based on at least 15 to 20 control bundles.
- On average, calibration with the three evaluated calibration alternatives resulted in a total volume increase of 156 m³fub (1.8%) across all harvest objects. The size of the increase varied significantly between machines, with an increase of 3.4% for machine 1 and 0.6% for machine 2.
- The calibration effect for individual objects was more pronounced, leading, for example, to an increase of 48 m³fub (24%) in the multi-tree handled volume for one study object, compared to the original volume determination of 198 m³fub. This example underscores the importance of applying a calibration model for multi-tree handled volumes when the harvester's volume determination is used as a basis for compensation, such as to forest owners or logging contractors.
- Based on the evaluation, it was recommended that the calibration of multi-tree handled volume be performed using a calibration factor calculated continuously and based on data from the latest 30 control bundles.
- When the recommended calibration factor was used for calibrating the multi-tree handled volume, the systematic difference compared to industrial measurement data was near zero, amounting to 0.2% and 0.4% for the two machines, respectively, and 0.3% for all objects. This result strongly supports the proposed calibration method's ability to eliminate systematic errors in harvesters' volume determination caused by systematic errors in determining the volume of multi-tree handled stems.

The study shows that the developed model can calibrate systematic errors in harvesters' determination of multi-tree handled volume, in a cost-effective and practical manner. We propose that the model be further tested on a semi-large scale in practical trials with machine manufacturers to accumulate practical experience and further document the model's performance. In such a project, it is also important to standardize the model within the framework of StanForD 2010, thereby creating a suitable basis for large-scale implementation in Swedish forestry.

Sammanfattning

Volymbestämning i skördaraggregat vid enkelträdshantering är väl utprovad och baseras på skördarnas berörande mätning av stammarnas längd och diameter. Vid flerträdshantering finns inte samma möjlighet att löpande mäta längd och diameter för enskilda stammar, då flera stammar ackumulerats i en trädskott. Volymbestämningen vid flerträdshantering baseras då på brösthöjdsdiametern för den första avverkade stammen i en skottbunt, volymen för tidigare avverkade träd i samma storlek samt antalet träd i bunt. Användningen av flerträdshantering är idag begränsad, då volymbestämningen upplevs som osäker och kan innehålla systematiska fel. En förbättrad volymbestämning vid flerträdshanteringen skulle stimulera till ökad användning av metodiken och ge utökade möjligheter att använda skördarens totala volymbestämning som underlag för vederlag till skogsägare och ersättning till avverkningsentreprenörer.

Syftet med studien var att i samverkan med skördartillverkare utveckla och testa en metod för kalibrering av systematiska fel vid volymbestämning av flerträdshanterade stammar. I studien utvecklades en modell där flerträdshanterade skott slumpades ut för efterföljande kontrollmätning. Signalen till föraren att en flerträdsbunt slumpats ut kom när samtliga stammar ackumulerats och upparbetning skulle inledas. Kontrollmätningen utfördes genom att föraren släppte ned stammarna i kontrollbunt och sedan upparbetade dem som enskilda stammar. Metodiken innebar att för samtliga kontrollskott genererades två volymbestämmingar: bestämning från flerträdshanteringen, respektive bestämning från enkelträdsupparbetningen.

I studien implementerade John Deere metodiken i sitt styrsystem och anpassningar gjordes av StanForD-standarden för lagring av nödvändiga data i skördarnas produktions- (hpr) och kvalitetskontrollfiler (hqc). För utvärdering testades metodiken under tre månader tillsammans med två skördarlag som avverkade åt Sveaskog, respektive StoraEnso. Totalt omfattade materialet data från 12 avverkningsobjekt motsvarande 205 ha och en avverkningsvolym på 12 000 m³fub, varav 2 070 m³fub var flerträdshanterad volym. Från 9 av de 12 avverkningsobjekten hämtades inmättningsdata från Biometria, vilken användes som jämförande referens i studien.

För kalibrering av samtliga flerträdshanterade skott utnyttjades data från de utslumpade kontrollskottarna och relationen mellan volymbestämningen från flerträdshanteringen och från enkelträdsupparbetning, varav den senare betraktades som en bestämning av den sanna volymen. I analysen beräknades och utvärderades olika varianter av kalibreringsfaktorer där den avgörande skillnaden för de två huvudvarianterna var ifall beräkningen av faktorn skedde löpande och oberoende av de ingående kontrollskottarnas objektstillhörighet eller objektsvis baserat på kontrollskottarna från respektive objekt. I en avslutande analys jämfördes objektsvisa totalvolymerna från inmätning vid industri med motsvarande totalvolymerna från skördarna och där den ursprungliga volymbestämningen för de flerträdshanterade skottarna kalibrerats.

Resultaten från analyserna kan sammanfattas enligt följande:

- Den föreslagna modellen ger möjlighet att följa upp förarnas körmönster. I studien valde till exempel föraren av maskin 1 systematiskt en relativt liten stam som första stam i flerträdsbuntarna medan förarna av maskin 2 valde första stam oberoende av storleksklass.
- Den ursprungligt använda utslumpningsfrekvensen för kontrollskottarna på 5 procent var alltför hög för att undvika negativ påverkan på produktiviteten. En mer praktiskt realistisk nivå är en utslumpningsfrekvens motsvarande 1 procent eller lägre.

- För de enskilda kontrollbuntarna var det stor variation för värdet på kalibreringsfaktorn, det vill säga kvoten mellan volymbestämningen från enkelträdsupparbetningen och bestämningen från flerträdshanteringen. För att kalibreringsfaktorn skulle stabiliseras krävdes att den baserades på data från minst 15 till 20 kontrollbuntar.
- I genomsnitt medförde kalibreringen med de tre utvärderade kalibreringsalternativen att den totala volymen från samtliga objekt ökade med 156 m³fub (1,8 %). Storleken på ökningen skiljde sig markant mellan maskinerna där ökningen för maskin 1 (3,4 %) var avsevärt högre än för maskin 2 (0,6 %).
- Kalibreringseffekten för enskilda objekt var mer påtaglig och innebar exempelvis för ett studieobjekt att den flerträdshanterade volymen ökade med 48 m³fub, det vill säga en ökning på 24 procent i förhållande till den ursprungliga volymbestämningen av den flerträdshanterade volymen som uppgick till 198 m³fub. Exemplet understryker vikten av att tillämpa en kalibreringsmodell för flerträdshanterade volymer, när volymbestämningen från skördaren används som underlag för vederlag, till exempel gentemot skogsägare eller avverkningsentreprenörer.
- Baserat på utvärderingen rekommenderades att kalibreringen av flerträdshanterad volym utförs med hjälp av en kalibreringsfaktor som beräknas löpande och baseras på data från de senaste 30 kontrollbuntarna.
- Då den rekommenderade kalibreringsfaktorn användes för kalibreringen av flerträdshanterad volym var den systematiska skillnaden jämfört med data från inmätning vid industri nära noll och uppgick till 0,2 procent, respektive 0,4 procent för de två maskinerna samt 0,3 procent för samtliga objekt. Detta resultat ger starkt stöd för att den föreslagna kalibreringsmetoden har förmåga att kalibrera bort systematiska fel i skördarnas volymbestämning, orsakade av systematiska fel i skördarnas bestämning av volym för flerträdshanterade stammar.

Sammanfattningsvis visar studien att den framtagna modellen har förmåga att, på ett kostnadseffektivt och praktiskt realiserbart sätt, kunna kalibrera för systematiska fel i skördarnas bestämning av flerträdshanterad volym. Vi föreslår att modellen testas vidare i halvstor skala i praktiska försök tillsammans med maskintillverkare i syfte att ackumulera praktisk erfarenhet och ytterligare dokumentera modellens prestanda. I ett sådant projekt är det även viktigt att standardisera modellen inom ramen för StanForD 2010. Därmed bör ett lämpligt underlag skapas för storskalig implementering i det svenska skogsbruket.

Definition av centrala begrepp

Tre centrala begrepp i studien är STP, MTP och MTF. Dessa tre begrepp definieras enligt nedanstående enligt StanForD2010-standard.

- Processkategori STP, Single-Tree Processed är begreppet som används inom standarden för enkelträdsupparbetning, det vill säga att skördaren upparbetar ett träd i taget. Vid denna typ av upparbetning kommer skördarens mätutrustning för längd och diameter i direkt kontakt med stammen, vilket i normalfallet medför en precis och noggrann bestämning av stammens volym.
- Processkategori MTP, Multi-Tree Processed är begreppet som används inom standarden för träd som upparbetas i bunt, där fällda stammar ackumuleras i skördaraggregatet. När bunten tiltas ner, matas bunten genom skördaraggregatet och minst ett toppkap görs på bunten.
- Processkategori MTF, Multi-Tree Felled är begreppet som används inom standarden för träd, där stammar ackumuleras i skördaraggregatet och fälls i bunt. När bunten tiltas ner görs inget toppkap.

Bakgrund

Volymbestämning i skördaraggregat vid enkelträdshantering är väl utprovad och baseras på skördarnas berörande mätning av stammarnas längd (med mätthjul) och diameter (med mätning i kvistknivar alternativt matarvalsar) (Möller m.fl. 2006). Vid flerträdshantering eller flerträdsfällning finns inte samma möjlighet att löpande mäta längd och diameter för enskilda stammar, då flera stammar ackumulerats i en trädbunt. Volymbestämningen vid flerträdshantering baseras då på den, av skördaren, första avverkade stammen i en stambunts DBH eller referensdiameter i kombination med information från mätningarna på tidigare enskilt hanterade stammar och antal stammar i buntan (Bhuiyan m.fl. 2011).

Flerträdshantering fick ett genombrott runt 2010, vilket innebar att i speciellt kläna gallringar, ofta med eftersatt röjning, sjönk avverkningskostnaderna.

I studien av Bhuiyan m.fl. (2011) utvärderades hur registrering och beräkning av stamdata fungerade 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 ± 25 procent från kontrollerad volym. Då detta är en jämförelsevis hög siffra, för enkelträdshantering beräknas volymen ligga inom ± 2 procent, identifierades att någon form av kalibrering borde införas separat för flerträdsbuntarna. En senare studie (Ågren m.fl. 2016) indikerade på möjligheten att minska variationen av volymskattningen vid flerträdshantering från ± 25 procent ner till ± 5 procent om någon form av volym- eller buntkalibrering kunde införas på skördarna vid flerträdsupparbetning.

Användning av flerträdshantering hindras idag till viss del då mätresultatet upplevs som osäkert för beräkning av till exempel avverkningens medelstam som ofta ligger till grund för betalning till skördarentreprenörerna och avverkningskostnader för markägare. Ett annat hinder som den osäkra flerträdsberäkningen ger är användning av skördardata som underlag för vederlagsmätning och då speciellt vid gallring. I många fall används inte flerträdshantering idag, på grund av osäkerhet i volymskattning, även om metoden fungerar väl. Teknikutvecklingen och digitaliseringen i kombination med ett idag etablerat system för kvalitetssäkring av enkelträdshanterade stammar gör att skördarsystemen nu är mogna för att även förbättra mätningen för flerträdsupparbetning. Vid en sådan introduktion är det av stor vikt med spårbara och standardiserade data inom ramarna för StanForD2010 (Arlinger 2012).

För skogsbruket skulle en utveckling och introduktion av ett kalibreringssystem för flerträdshanterade volymer vara till stor nytta.

Syfte och mål

Syftet med studien var att i samarbete med skördartillverkare utveckla och testa en metod för kalibrering av systematiska fel vid volymbestämning av flerträdsupparbetade stammar. Med metoden ska fel beroende på operatörsbeteende, skördaraggregattyp och varierande beståndstyper kunna hanteras.

Delmål 1 var att föreslå en beräknings- och kalibreringsmodell för att hantera eventuella systematiska fel som kan uppstå vid volymbestämning vid flerträdshantering. Modellen kan vara en kalibrering på total flerträdshanterad volym och medelstam mätt för flerträdshanterad

volym eller en modell som korregerar volymen för varje flerträdshanterad bunt baserad på första trädets storlek.

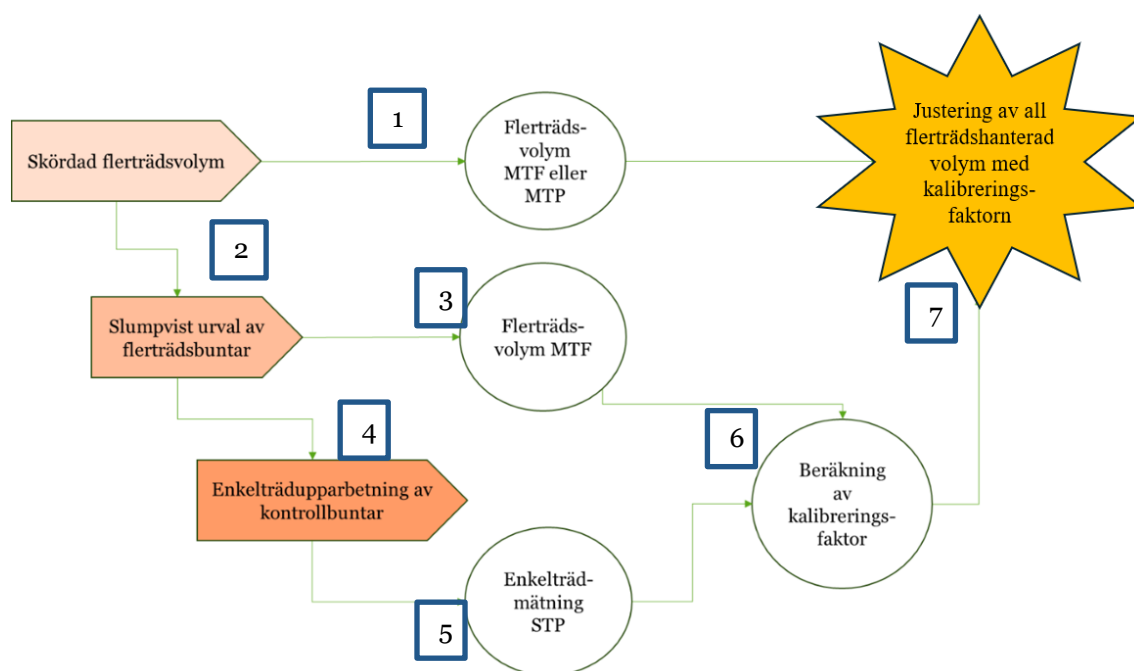
Delmål 2 var att föreslå en metodik och tillsammans med minst två skördardatortillverkare och skogsorganisationer implementera och testa modellen på 10–20 avverkningsobjekt.

Utifrån insamlade mätdata och tester var sedan målet att föreslå en statistiskt underbyggd kalibrerings- och kontroll-rutin/metod.

Material och metoder

Modellutveckling

Figur 1 beskriver den modell som togs fram i studien för volymbestämmning, inklusive kontrollmätning och volymkalibrering, vid flerträdshantering. Med hjälp av ett stickprov ska förhållandet mellan de två volymbestämmningarna, ordinarie volymbestämmning och volymbestämmning från kontrollmätning, ligga till grund för beräkning av en kalibreringsfaktor. Faktorn ska användas för att kalibrera den totala flerträdshanterade volymen.



Figur 1. Föreslagen modell för kalibrering och justering av flerträdshanterade volymer vid skördaravverkning. Med hjälp av ett slumpat stickprov ska ett förhållande eller kalibreringsfaktor mellan flerträds-mätt volym och enkelträdupparbetad volym för stickprovet beräknas.

Siffrorna i figur 1 symboliserar följande:

- 1) **Flerträdsvolym MTF eller MTP.** Dagens modell för beräkning av flerträds hanterade volymer (MTP). Modellen fungerar i princip så att skördaren mäter första stammens referensdiameter (första diametern på en stam, ca 90 cm över stubbskär). Utifrån storleken på första stammen uppskattas volymen utifrån tidigare enkelträdsupparbetade stammar med motsvarande referensdiameter. Denna volym multipliceras med antal stammar i bunt. En variation gällande hur beräkningen går till förekommer mellan skördartillverkare. MTP (Multi tree processing) står för volym när stammarna är kapade till stockar och MTF (Multi tree felling) står för hela stammens volym utan att den kapats till stockar.
- 2) **Slumpvis urval av flerträdsbuntar för kontroll.** För att kalibrera flerträds hanterade volymer slumpas apteringsdatorn ut en viss frekvens av buntarna som kontrollmäts. I studien användes en slumpningsfrekvens på 5 procent motsvarande var 20:e flerträds hanterad bunt. Signalen till föraren kommer när samtliga stammar i bunt är fällda och aggregatet ska börja processa stammarna till stockar, alternativt innan första bunt kapas. I detta läge har volymbestämningen, beskriven under punkt 1, genomförts, det vill säga första stammens storlek är mätt och antal stammar är räknade (Figur 2).
- 3) **Lagring av MTF-volym.** För att senare kunna beräkna en kalibreringsfaktor sparas MTF-volymen, vilket motsvarar den volym som systemet skulle ha registrerat som MTP-volym om bunt hade upparbetats.
- 4) **Enkelträdsupparbetning av kontrollbunt.** För att få fram kalibreringsfaktorn kontrollmäts de träd som ingår i den utslumpade bunt. Kontrollmätningen görs i skördaren genom att maskinen släpper ner stammarna i kontrollbunt, sedan plockar upp dem och bearbetar dem en och en och lagrar data för varje stam och stock.
- 5) **Enkelträds mätning STP-volym.** Efter att en kontrollbunt slumpats ut, MTF-volymer sparats och träden i bunt lagts på marken ska kontrollmätning göras. Steg 1 är att föraren får svara på om antalet stammar stämmer överens med maskinens registrerade antal. Om antalet avviker får föraren registrera rätt antal, annars bekräfta att det stämmer. Steg 2 är att de valda träden upparbetas ett och ett i skördaren och volymen för träden och respektive stock registreras som STP-volym.
- 6) **Beräkning av kalibreringsfaktor.** Utifrån de två volymbestämningarna av kontrollbuntarna beräknas en kalibreringsfaktor. Faktorn beräknas som kvoten mellan volymbestämning från enkelträdsupparbetning och flerträdsupparbetning. I studien lagrades både MTF- och STP-volymer i hpr- och hqc-filer. I en framtida modell bör StanForD utvecklas så att STP lagras i hpr-filen och MTF och STP lagras i hqc-filen för beräkning av kalibreringsfaktorn.
- 7) **Justering av total flerträds hanterad volym med kalibreringsfaktorn.** Utifrån kalibreringsfaktor (6) kalibreras den flerträds hanterade volymen. I studien har två olika modeller föreslagits och testats A) Volymer kalibreras för ett helt objekt baserat på objektets kontrollmätta buntar och beräknade kalibreringsfaktor. B) Löpande justering av de flerträds hanterade buntvolymer på de senaste (15–30) avverkade och kontrollerade flerträdsbuntarna.

- 8) **Lagring av flerträdsvolym i hpr-filen.** Lämpligtvis lagras volymen i hpr-filen efter kalibrering. Idag används `estm3fub` eller `estm3fpb` (estimated volume) som enumeration för flerträds hanterade volymer. Om kalibreringsfaktorn används för kalibrering av volymen bör en ny enumeration för volymen skapas, till exempel `calestm3fub` (calibrated estimated volume). Använd kalibreringsfaktor bör lagras i hpr- eller hqc-filerna.

Utveckling hos maskintillverkaren och arbetsflöde i maskinen

För studiens genomförande krävdes anpassningar i både StanForD 2010:s produktionsfilstruktur (hpr och hqc) samt förändringar av maskintillverkarens aggregatstyrsystem och datalagring. John Deere anpassade sitt system för datahantering av flerträds hanterad volym. Skördare från John Deere användes genomgående i studien.

Anpassning av funktioner i skördarnas styrsystem

Inför studien genomfördes följande anpassningar i maskintillverkarens styrsystem.

- 1) Funktion för utslumpning av kontrollbuntar: Funktion för inställning av frekvens för utslumpning och användargränssnitt till stöd för föraren som visar när en flerträdsbunt slumpats ut för kontroll.
- 2) Registrering eller korrigering av stamantal i utslumpad kontrollbunt: Funktion och användargränssnitt för att bekräfta eller justera antal stammar i kontrollbunt. Registrerat antal enskilt upparbetade stammar efter en kontrollbunt kommer att användas för beräkning av kalibreringsfaktor.
- 3) Avvisningsfunktion: Funktion för att kunna avvisa kontrollmätning vid försvårande eller olämpliga förhållanden.
- 4) Funktion för lagring av kontrolldata: När en kontrollbunt har slumpats ut och kontrollmätts ska resultatet lagras i systemet. I studien lagrades dessa data i hpr- och hqc-filer.
- 5) Anpassning för att spåra första trädet i en kontrollbunt: Anpassning av färgmärkningsfunktionen för rotändemärkning av första stammen (referensstammen) i varje flerträdsbunt utfördes. Detta gjordes för att underlätta för föraren att alltid börja kontrollmätning med första stammen i en bunt, vilket önskades i studien. Funktionen aktiverades för alla buntar för att minska risk för bias, det vill säga att förarens arbete skulle påverkas oavsiktligt i vetskap om att en kontroll var på gång. Denna funktion behövs inte i produktionsmiljö.



Figur 2. Bild av skördaraggregat under pågående test med färdig ackumulerad flerträdsbunt och färgmärkning på första stammen i bunt, så kallad referensstam. Efter att buntens släppts på marken, påbörjas kontrollmätning med enkelträdsupparbetning. Föraren börjar då med den färgmärkta referensstammen.

Förarens arbetsflöde

När kontrollmätning ska påbörjas meddelas föraren via en dialogruta i styrsystemet. Meddelandet kommer efter att sista stammen i buntens ackumulerats. Efter att föraren bekräftat kontrollmätning uppmanar systemet föraren via en ny dialogruta att bekräfta stamantal i buntens, där föraren uppmanas godkänna maskinens stamräkning eller registrera en korrigering av stamantalet. Därefter påbörjas enkelträdsupparbetning av kontrollbuntens (5). Stammen med färgmärkning i rotändan är referensstammen (första stammen) och föraren instruerades att alltid börja kontrollmätningen med referensstammen. Ingen särskild ordning av efterföljande stammar krävdes. Att kontrollmätning pågick indikerades via styrsystemets gränssnitt under hela kontrollförloppet. När sista stammen i kontrollbuntens matats färdigt genom aggregatet, väljer föraren via en dialogruta i gränssnittet att avsluta kontrollmätningen.

Vid försvårande omständigheter i hantering av kontrollbuntar kunde föraren välja att avvisa en kontroll. Detta för att underlätta och skapa ett smidigare arbetsflöde för föraren. I studien avvisades buntar till kontrollmätning i) när stammar gled ur aggregatet under ackumulering, ii) när kontrollfrekvens upplevdes som produktionsstörande med flera kontrollbuntar i timmen och iii) vid mycket tät omgivande skog som försvårade flytt av buntens till lämplig plats för kontrollmätning.

Studieobjekt

12 avverkningsobjekt studerades, fördelade på två avverkningslag, tre förare och två värd företag (Tabell 1). Objektet för studien utgjordes huvudsakligen av klenare förstagallringar med potential för betydande andel flerträdshantering. Samarbetspartner i projektet var maskintillverkaren John Deere, skogsföretagen Sveaskog och StoraEnso och de två entreprenadfirmorna, Önskebohyttan Entreprenad och Per-Hans Skogsentreprenad. Totalt har maskinerna enligt produktionsrapporteringen avverkat 205 ha i studien, 12 015,0 m³fub varav 2 069,4 m³fub var flerträdsavverkade volymer.

Tabell 1. Förteckning över studiens medverkande skogsföretag, ingående maskiner och tidsintervall för datainsamlingen.

Avverkande företag	Maskin	Maskinmodell	Årsmodell maskin	Aggregat	Årsmodell aggregat	Testperiod
Sveaskog	John Deere	1170 G	2022	H212	2022	Sept - Dec 2023
Stora Enso	John Deere	1170 G	2023	H212	2023	Okt - Dec 2023

Datainsamling

Data från testerna samlades in uteslutande via maskinens produktionsfiler i form av både hpr-filer med skördarens mätning av de avverkade träden (MTF och STP). Dessa båda volymer lagrades efter varandra i hpr-filen. hqc-filer användes för att spara information om maskinens kontrollmätningar (STP). Inga stammar tillhörande kontrollbuntar av flerträdshantering mättes med klave, det vill säga samtliga kontrollmätningar gjordes med skördaren.

Varje flerträdsstam i en stambunt får ett unikt stamnummer. Buntens stammar får samma brösthöjdsdiameter och maskinberäknad volym som första stammen i buntens. Sista stammen i buntens öronmärks med en siffra för stamantal i buntens under rubriken buntstamantal, som lagras på stamnivå i hpr-filen. Siffran registreras av föraren vid kontrollmätning. I hpr- och hqc-filerna lagras även data om stockvolym, diametervektorer mm.

Data hämtades löpande direkt från maskinen till Skogforsks IT-miljö via Team Viewer, ca en gång per vecka för kontroll av filinnehåll och säkerställande av datakvalitet. Vid avslutad produktion tillhandahöll värd företagen aggregerade produktionsdata per objekt. Avverkning av studieobjekt skedde under september till december 2023.

Inmätta volymer är travmätta eller stockmätta av Biometria vid mottagande industri. Uppgifter från industrimätning har tillhandahållits av Sveaskog och StoraEnso.

Kontroll av skördarnas längd- och diamettermätning

I studien betraktades skördarnas volymbestämning från enkelträdsupparbetningen av kontrollbuntarna som en bestämning av den "sanna" volymen och som volymen som flerträdsbuntningen kalibrerades mot. I syfte att säkerställa att skördarnas volymbestämning från enkelträdsupparbetningen inte innehöll några systematiska fel analyserades data från skördarförarnas egenuppföljning, bestående av daglig kontrollmätning av längd och diameter på stockar från cirka en stam per dag. Analys av dessa data visade att de två skördarna under studieperioden hade en genomsnittlig avvikelse mellan skördarens mätning och egen kontrollmätning som understeg 0,09 mm för diameter och 0,42 cm för längd (Bilaga 2). De två skördarnas mätutrustning för längd och diameter var alltså i det närmaste perfekt kalibrerade och kan inte förväntas ha bidragit med några systematiska fel i volymbestämningen från enkelträdsupparbetningen av kontrollbuntarna.

Analys och beräkningar

Alla inhämtade data från maskinerna laddades upp i Skogforsks program Virkesvärde, där data förbereddes för vidare hantering och analys.

En central parameter som beräknades i studien var kalibreringsfaktorn (KF), uttryckt som kvoten mellan volymbestämningen från enkelträdsupparbetningen och flerträdsupparbetningen för kontrollbuntarna. I studien beräknades kalibreringsfaktorn både baserat på kontrollbuntar inom objekt och baserat på kontrollbuntar över objektsgränser för att studera hur faktorn varierade och närmare undersöka hur kalibreringsmetodiken skulle kunna implementeras praktiskt i skördare.

Kalibreringsfaktorn beräknades totalt inom objekt (KF_{Obj_Tot}), respektive ackumulerat inom objekt (KF_{Obj_Ack}) som

$$[1] \quad KF_{Obj_Tot} = \sum Vol_{STP_Obj_Tot} / \sum Vol_{MTF_Obj_Tot}$$

$$[2] \quad KF_{Obj_Ack} = \sum Vol_{STP_Obj_Ack} / \sum Vol_{MTF_Obj_Ack}$$

där $\sum Vol_{STP_Obj_Tot}$ är kontrollbuntarnas summerade volym inom objekt från volymbestämningen från enkelträdsupparbetningen, $\sum Vol_{MTF_Obj_Tot}$ är kontrollbuntarnas summerade volym inom objekt från volymbestämningen från flerträdsupparbetningen, $\sum Vol_{STP_Obj_Ack}$ kontrollbuntarnas ackumulerade volym inom objekt från volymbestämningen från enkelträdsupparbetningen och $\sum Vol_{MTF_Obj_Ack}$ kontrollbuntarnas ackumulerade volym inom objekt från volymbestämningen från flerträdsbuntningen. Vid beräkningen av den ackumulerade kalibreringsfaktorn skedde ackumulering utifrån data från den första till den sista kontrollbunten inom objektet, vilket användes för att belysa hur värdet på kalibreringsfaktorn stabiliserades i takt med att dataunderlaget utökades.

Kalibreringsfaktorn beräknades löpande och oberoende av kontrollbuntarnas objektstillhörighet baserat på de 15 ($KF_{Löp_15}$), respektive de 30 ($KF_{Löp_30}$) senaste kontrollbuntarna som

$$[3] \quad KF_{Löp_15} = \sum Vol_{STP_Löp_15} / \sum Vol_{MTF_Löp_15}$$

$$[4] \quad KF_{Löp_30} = \sum Vol_{STP_Löp_30} / \sum Vol_{MTF_Löp_30}$$

där $\sum Vol_{STP_Löp_15}$ och $\sum Vol_{STP_Löp_30}$ är den summerade volymen från volymbestämningen från enkelträdsupparbetningen av de 15 respektive 30 senaste kontrollbuntarna, $\sum Vol_{MTF_Löp_15}$ och $\sum Vol_{MTF_Löp_30}$ är den summerade volymen från volymbestämningen från flerträdsbuntningen för de senaste 15 respektive 30 kontrollbuntarna.

Volymjämförelse

Vid utvärdering har KF jämförts för enskilda buntar, för objekt och för maskiner. Sedan har totalvolymerna mellan skördarmätta volymer och industrimätta volymer jämförts. Inmätta volymer har definierats som facit och inkluderar både skördarens enkelträdsupparbetade volymer och flerträdsvolymerna. Inmätta volymer är travmätta enligt Biometrias metoder för mätning.

På objektsnivå har skördarmätta volymer ställts i relation till inmätta volymer. De skördarmätta volymerna har tagits fram på fyra olika sätt:

- 1) Dagens skördarmätta volymer enligt hpr-filen
- 2) Skördarens STP-volymer enligt hpr-filerna och MTP-volymer kalibrerade med KF_{Obj_Tot}
- 3) Skördarens STP-volymer enligt hpr-filerna och MTP-volymer kalibrerade med $KF_{Löp_30}$
- 4) Skördarens STP-volymer enligt hpr-filerna och MTP-volymer kalibrerade med $KF_{Löp_15}$

Jämförelserna av de fyra skördarvolymmodellerna ovan utgör studiens huvudresultat. Resultatet redovisas som relationen mellan skördarmätt volym och inmätt volym i procent. Inmätt volym utgör 100 procent. Inmätning av volymerna har gjorts vid mottagande industri. Massavedsvolymen har mätts av Biometria genom travmätning av lastbilens travar och en fastmassaprocent för beräkning av volymen. Enkelupparbetade och flerträdsupparbetade volymer har mätts tillsammans vid industrin. Detta innebär att "facitvolym" är summan av flerträdshanterad volym och enkelupparbetad volym.

Resultat

Medelvärden

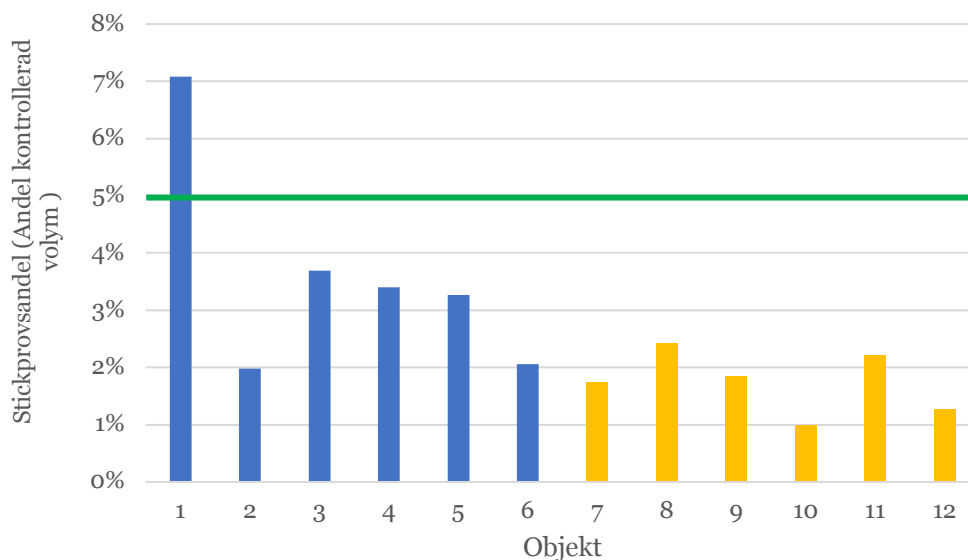
Totalt omfattade de 12 objekten i studien en areal på 206 ha och en avverkad volym på 12 015 m³fub (Tabell 2). Den flerträdshanterade volymen uppgick till 2 069 m³fub. Andelen flerträdshanterad volym per objekt varierade mellan 0,5 och 37 procent och uppgick i medeltal till 17 procent.

Kalibreringsfaktorn beräknad på objektsnivå (KF_{Obj_Tot}) skiljde sig i hög grad mellan de två maskinerna i studien. För maskin 2 var den i genomsnitt 1,03 medan den uppgick till 1,22 för maskin 1 (Tabell 2). Detta indikerar att för maskin 2 tenderade den första stammen i kontrollbuntarna vara lika de övriga stammarna medan den första stammen i kontrollbuntarna för maskin 1 tenderade att vara klenare än de övriga stammarna i buntarna. Flerträdsvolymen för maskin 1 blir därför underskattad.

Tabell 2. Area, totalt producerad volym samt uppdelad på flerträdsupparbetad (MTP) och enkelträdsupparbetad (STP) volym, antal kontrollbuntar, volym för kontrollbuntarna enligt flerträdsupparbetning respektive enkelträdsupparbetning samt kalibreringsfaktorn (KF_{Obj_Tot}) för de 12 studieobjekten. I studien avverkades objekt 1–6 av maskin 1 och objekt 7–12 av maskin 2. (För objekt 7, föll 1,7 procent av all flerträdshantering ut till kontroll under studiens tidsperiod för datainsamling, vilket berörde en totalvolym av 467 m³fub.). M1: Maskin 1, M2: Maskin2.

Objekt	Area (ha)	Total volym (m ³ fub)	MTP volym (m ³ fub)	STP volym (m ³ fub)	Antal kontroller	Andel flerträds- volym (%)	Kontroll MTF- volym (m ³ fub)	Kontroll STP- volym (m ³ fub)	Kalibrerings- faktor (KF_{Obj_Tot})
1	3,6	305,4	39,4	266,0	35	12,9%	3,00	4,00	1,332
2	9,0	490,9	17,7	473,2	4	3,6%	0,36	0,38	1,047
3	16,4	945,8	198,4	747,4	114	21,0%	7,54	9,11	1,207
4	11,7	648,1	132,7	515,4	62	20,5%	4,68	5,39	1,153
5	5,2	320,7	29,4	291,3	15	9,2%	0,99	1,48	1,490
6	10,8	1 296,4	193,7	1 102,7	50	14,9%	4,07	4,93	1,211
<i>Σ M 1</i>	56,7	4 007,3	611,3	3 396,0	280	15,3%	20,64	25,28	1,225
7	58,6	2 338,5	623,6	1 714,9	14	26,7%	1,24	1,34	1,085
8	10,2	618,5	230,5	388,0	78	37,3%	5,70	5,61	0,983
9	4,2	842,1	4,6	837,5	1	0,5%	0,09	0,10	1,105
10	14,7	785,1	16,4	768,7	2	2,1%	0,16	0,22	1,311
11	34,4	2 387,8	388,7	1 999,1	79	16,3%	8,77	9,01	1,028
12	26,8	1 035,7	194,3	841,4	44	18,8%	2,48	2,63	1,061
<i>Σ M 2</i>	148,9	8 007,7	1 458,1	6 549,6	218	18,2%	18,44	18,90	1,025
Totalt	205,6	12 015,0	2 069,4	9 945,6	498	17,2%	39,07	44,18	1,131

I studien var den inställda slumpningsfrekvensen 5 procent, det vill säga i genomsnitt kunde en kontrollbunt förväntas falla ut per 20 upparbetade flerträdsbuntar. I figur 3 redovisas den faktiska slumpningsfrekvensen utifrån de kontrollbuntar som mättes in. Med undantag för det första objektet, där extra kontrollbuntar togs ut i samband med starten av studien, var den faktiska slumpningsfrekvensen halverad jämfört med den avsedda. Skillnaden berodde på de avvisningar av kontrollbuntar som förarna gjorde. De vanligaste orsakerna till avvisning var att det fanns mycket liggande röstammar, vilket försvårade enkelträdsupparbetningen samt att förarna upplevde att kontrollerna påverkade produktiviteten negativt.

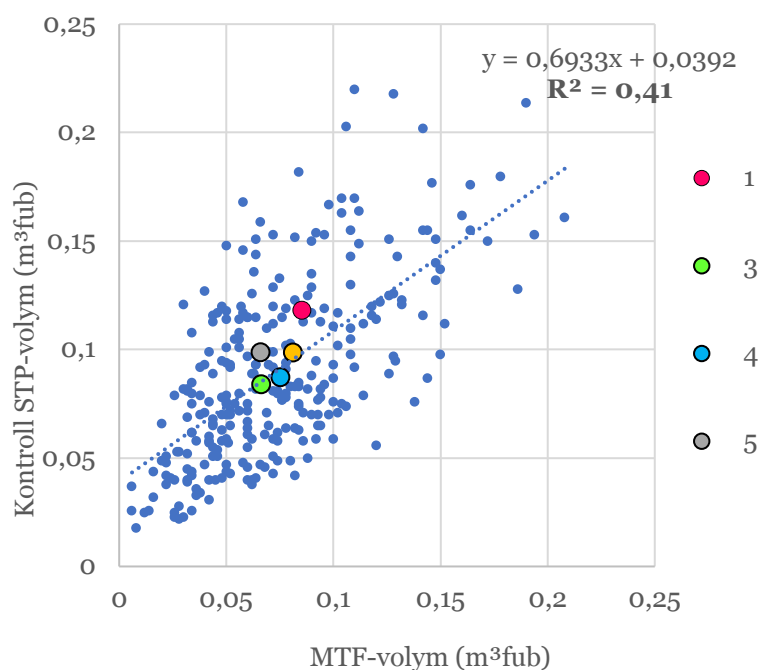


Figur 3. Faktisk stickprovsandel av objektsvis total flerträdshanterad volym för de två maskinerna. Default-inställning för slumpningsfrekvensen var 5 procent, det vill säga var 20:e flerträdsbunt.

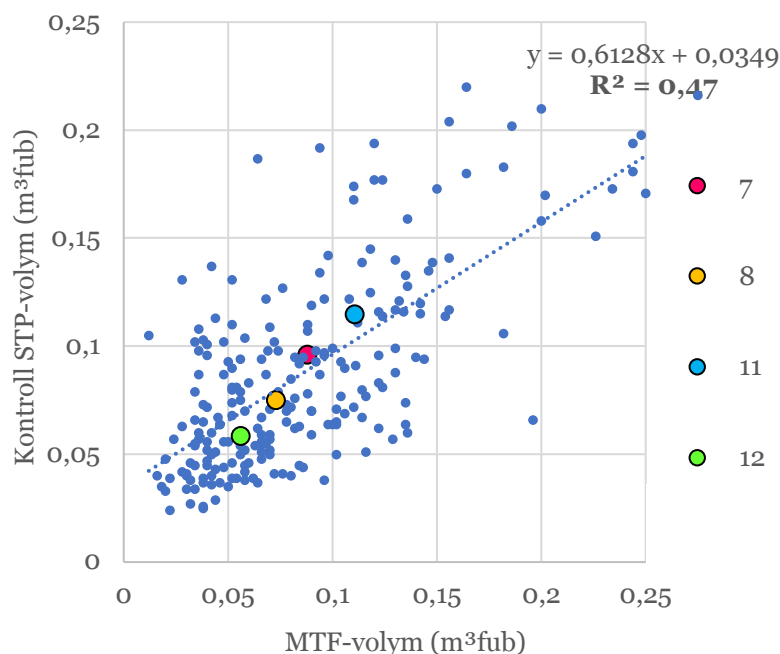
Samband mellan flerträdsvolym och kontrollvolym

Spridningen för den buntvisa relationen mellan flerträdsvolym och enkelträdsupparbetad kontrollvolym för maskin 1 redovisas i figur 4 för alla 280 kontrollbuntar (blå serie). Den stora spridningen på buntnivå i volymbestämningen beror på variationen i stamvolym mellan första stammen och övriga stammar i varje flerträdsbunt. Resultatet visar att maskinens flerträdsräkning systematiskt underskattar volymen, där underskattningen är större för mindre buntar. Diagrammets fem färgade serier är objektsvisa medelvärden (för objekt med minst 15 kontrollbuntar).

I genomsnitt för maskin 1 var kontrollbuntarnas enkelträdsupparbetade kontrollvolym 0,094 m³fub och den flerträdsupparbetade volymen 0,074 m³fub.



Figur 4. Samband mellan kontrollbuntarnas flerträdshanterade volym (MTF-volym) och den enkelträdsupparbetade kontrollvolymen (Kontroll STP-volym) för de 218 insamlade kontrollbuntarna för maskin 1 (blå serie). I större färgade cirklar visas genomsnittlig MTF-buntvolym mot genomsnittlig STP-kontrollvolym per studieobjekt. Medelvärde för objekt 2 är utelämnat i diagrammet, då endast fyra provbuntar registrerades.



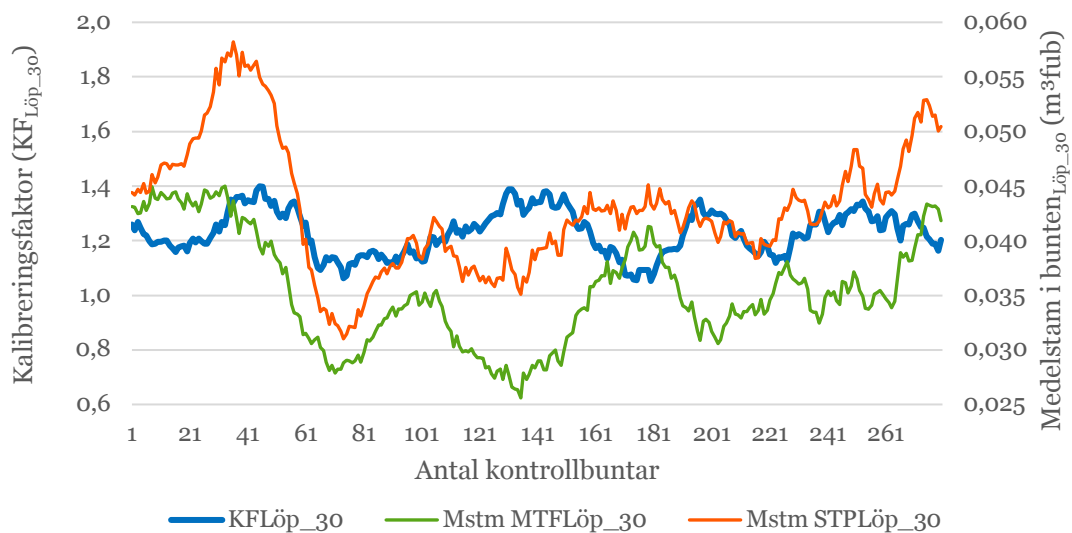
Figur 5. Samband mellan kontrollbuntarnas flerträdshanterade volym (MTF-volym) och den enkelträdsupparbetade kontrollvolymen (Kontroll STP-volym) för de 218 insamlade kontrollbuntarna för maskin 2 (blå serie). I större färgade cirklar visas genomsnittlig MTF-buntvolym mot genomsnittlig STP-kontrollvolym per studieobjekt. Medelvärden för objekt 9 och 10 är utelämnade i diagrammet, då endast en respektive två kontrollbuntar hade registrerats för dessa objekt.

För maskin 2 (Figur 5) var den totala spridningen för sambandet mellan de enskilda kontrollbuntarnas volym från flerträdshantering och volym från enkelträdsupparbetning likartad som motsvarande spridning för maskin 1 (Figur 4). Närmare granskning av sambandet visade dock en tydlig skillnad i spridningsmönster mellan maskinerna. För kontrollbuntarna med lägst volym (MTF-volym $< 0,1 \text{ m}^3/\text{bunt}$) uppvisade båda maskinerna en tydlig tendens till att den flerträdshanterade volymen underskattade den enkelträdsupparbetade kontrollvolymen. För maskin 1 vidmakthölls denna tendens för samtliga storlekar på kontrollbuntarna medan den för maskin 2 förändrades till det omvända, det vill säga för kontrollbuntar med högre volym tenderade den flerträdshanterade volymen att överskatta volymen från enkelträdsupparbetning.

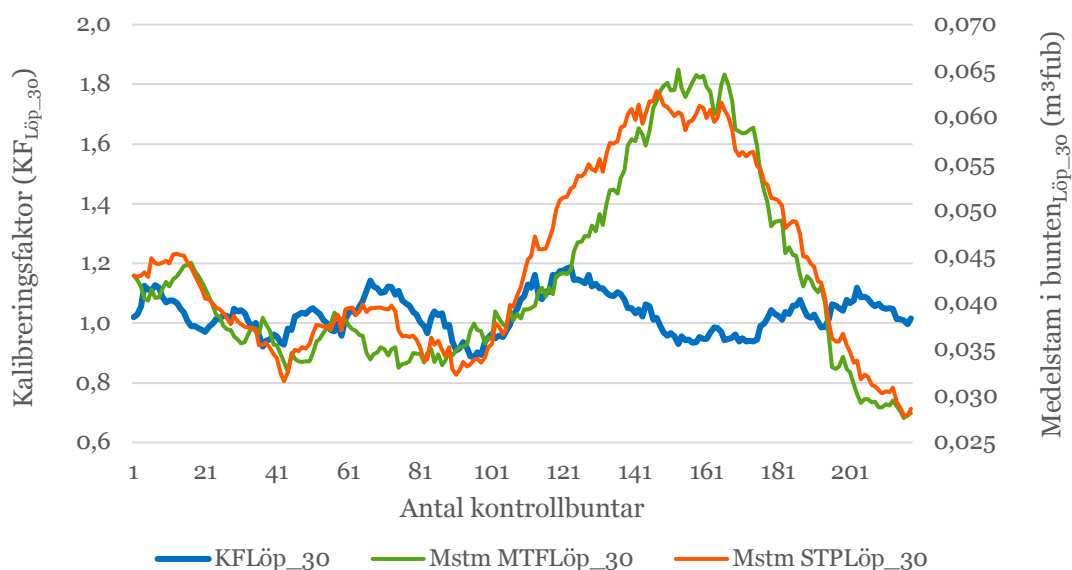
Vi tolkar skillnaden i spridningsmönster mellan maskinerna som en effekt av förarnas arbetsmönster som påverkas av preferenser i körstil men även variation i diameterspridning. Ett spridningsmönster motsvarande det som noterades för maskin 2 kan förväntas ifall inget aktivt val görs när det gäller den relativa storleken på första stammen i flerträdsbuntarna. Är första stammen relativt klen är sannolikheten hög att efterföljande stam(mar) är grövre och omvänt; är första stammen relativt grov är sannolikheten hög att efterföljande stam(mar) är klen(are). För maskin 1 underskattade den flerträdshanterade volymen den enkelträdsupparbetade kontrollvolymen för samtliga storlekar på första stammen i flerträdsbuntarna. Detta är en stark indikation på att föraren av den första maskinen genomgående aktivt valt att inkludera en relativt klen stam som första stam i flerträdsbuntarna.

Vår tolkning att förarens körstil återspeglas i data från kontrollbuntarna stöds av hur relationen mellan medelstam per kontrollbunt från volymbestämningen från flerträdshantering, respektive enkelträdsupparbetning utvecklades under studieperioden. I figur 6 och 7 redovisas medelstam per bunt, uttryckt som ett löpande medelvärde baserat på 30 kontrollbuntar, från volymbestämning från flerträdshantering, respektive enkelträdsupparbetning. För maskin 1 (Figur 6) var medelstammen per kontrollbunt från flerträdshanteringen konsekvent lägre under hela studieperioden, oberoende av den aktuella storleken på medelstammen. Sammantaget under studieperioden gav det upphov till en kalibreringsfaktor på 1,23.

För maskin 2 (Figur 7) fanns inte samma mönster, utan medelstammen från flerträdshanteringen var omväxlande högre och omväxlande lägre än medelstammen från enkelträdsupparbetningen, vilket totalt under studieperioden resulterade i en kalibreringsfaktor nära ett. Sammantaget stöder dessa resultat att data från kontrollbuntarna återspeglar förarnas körstil: föraren av maskin 1 tenderade att konsekvent ta ett relativt litet träd som första träd i buntens oberoende av medelstam i det aktuella beståndet medan förarna av maskin 2 inte styrde valet av första träd i buntarna till någon speciell storleksklass. När det blir en systematisk skillnad mellan maskinens medelstam och kontrollens kommer kalibreringskvoten att avvika från 1 i liknande relation, vilket framgår i figur 6 och 7 enligt den blåa linjen.



Figur 6. Trenddiagram för maskin 1 som visar utveckling av KF_{Löp_30} (blå serie) jämfört med löpande medel för medelstam i bunt (m³fub), baserad på de senaste 30 buntarna, för MTF (grön serie) och STP (orange serie).



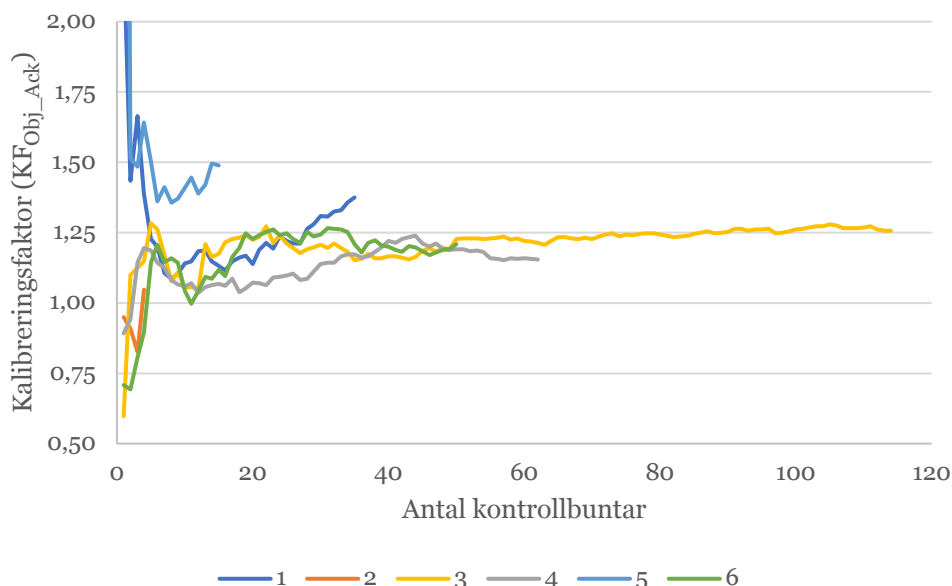
Figur 7. Trenddiagram för maskin 2 som visar utveckling av KF_{Löp_30} (blå serie) jämfört med löpande medel för medelstam i bunt (m³fub), baserad på de senaste 30 buntarna, för MTF (grön serie) och STP (orange serie).

Utveckling av kalibreringsfaktorn inom objekt

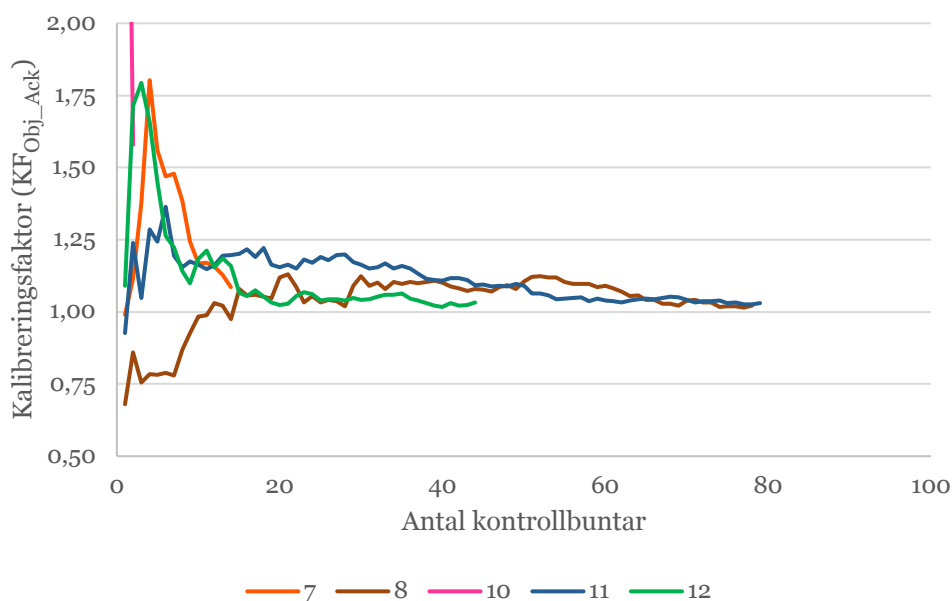
Av central relevans för studien var att identifiera gränsen för lägsta antal kontrollbuntar i den föreslagna modellen som fångar spridningen för sambandet mellan flerträdshanterad volym och enkelträdsupparbetad volym för att kunna beräkna ett korrekt värde för kalibreringsfaktorn.

Figur 8 och 9 visar maskinvisa trender för den objektsvisa ackumulerade kalibreringsfaktorn (KF_{Obj_Ack}), uttryckt som kvoten mellan kontrollbuntarnas ackumulerade volym inom objekt från volymbestämningen från enkelträdsupparbetningen och kontrollbuntarnas ackumulerade

volym inom objekt från volymbestämningen från flerträdshanteringen. För båda maskinerna tenderade den objektsvisa ackumulerade kalibreringsfaktorn att stabiliseras då data från 15 till 20 kontrollbuntar ackumulerats. I genomsnitt var kontrollbuntarnas enkelträdsupparbetade kontrollvolym 0,09 m³fub, det vill säga 15 till 20 kontrollbuntar kan förväntas motsvara en volym på cirka 1,5 m³fub.



Figur 8. Objektsvis ackumulerad kalibreringsfaktor (KF_{Obj_Ack}) plottad mot ackumulerat antal kontrollbuntar avverkade med maskin 1. Varje färgad linje representerar ett bestånd.



Figur 9. Objektsvis ackumulerad kalibreringsfaktor (KF_{Obj_Ack}) plottad mot ackumulerat antal kontrollbuntar avverkade med maskin 2. Värdet för objekt 9 är utelämnat i diagrammet då endast en kontrollbunt registrerades för objektet. Varje färgad linje representerar ett bestånd.

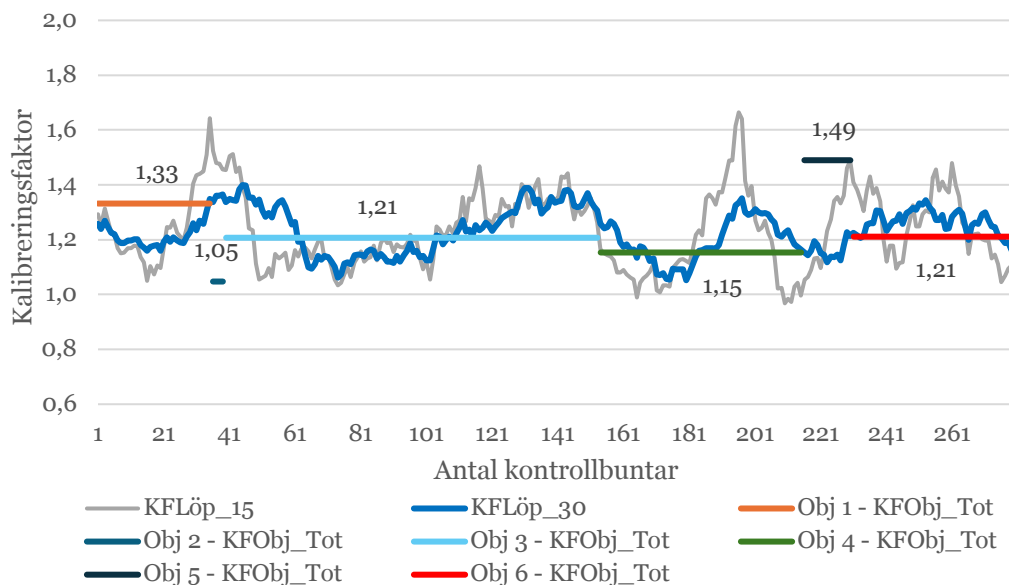
Utveckling av kalibreringsfaktorn mellan objekt

En viktig fråga att besvara i studien var huruvida kalibrering av volymen från volymbestämmningen vid flerträdshanteringen bör utföras enbart utifrån kontrollmätningar inom det aktuella objektet eller om det är möjligt att använda ett kalibreringsunderlag som utgörs av kontrollmätningar från intilliggande objekt. Att basera en kalibrering på löpande medelvärden från de senaste 15–30 kontrollbuntarna är att föredra över alternativet att basera kalibreringen på objektsmedelvärden. Fördelarna är främst vid praktisk tillämpning i skördaren, där löpande medelvärden kan beräknas utan behov av att ta hänsyn till brytpunkter mellan objekten, och utan behov av en objektsspecifik justering av kontrollfrekvens för att generera minst 15 kontrollbuntar.

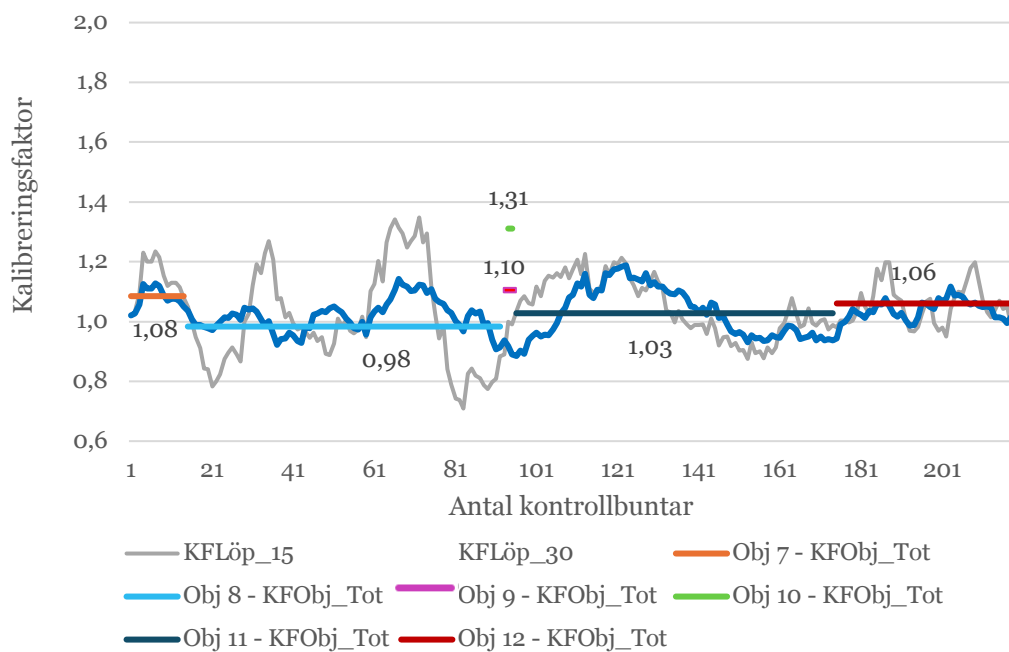
För att belysa denna fråga beräknades kalibreringsfaktorn löpande och oberoende av kontrollbuntarnas objektstillhörighet. Två varianter beräknades, vilka baserades på data från de 15 ($KF_{Löp_15}$), respektive 30 ($KF_{Löp_30}$) senaste kontrollbuntarna. I figur 10 och 11 redovisas en jämförelse mellan de två varianterna av löpande beräkning av kalibreringsfaktorn respektive kalibreringsfaktorn beräknad baserad på kontrollbuntar inom respektive objekt.

En övergripande jämförelse mellan de två varianterna av löpande beräkning av kalibreringsfaktorn visade att beräkningen baserad på de senaste 30 kontrollbuntarna var väsentligt stabilare än beräkningen då kalibreringsfaktorn baserades på de senaste 15 buntarna. Utfördes samma jämförelse mellan varianterna för de enskilda objekten ligger kalibreringsfaktorn baserad på de senaste 15 kontrollbuntarna omväxlande över och under kalibreringsfaktorn baserad på 30 kontrollbuntar. Jämförelsen ger inte stöd för att de två varianterna skulle ge väsentligt olika effekt vid kalibrering av den flerträdshanterade volymen på objektsnivå; tvärtom kan de två varianterna förväntas ge en likartad effekt.

I en objektsvis jämförelse mellan de två varianterna av löpande beräkning av kalibreringsfaktorn och den objektsvisa beräknade kalibreringsfaktorn låg de två varianterna av löpande beräkning omväxlande över och under den objektsvis beräknade faktorn för de olika objekten. På samma sätt som i den inbördes jämförelsen mellan de två löpande varianterna indikerar detta att användning av en kalibreringsfaktor baserad på löpande beräkning utifrån de senaste 15 eller 30 kontrollbuntarna bör ge likartat resultat som användning av en objektsvis framtagna kalibreringsfaktor vid kalibrering av den flerträdshanterade volymen på objektsnivå. Undantaget utgjordes av objekt nummer 2 och 5 för maskin 1 och nummer 9 och 10 för maskin 2, där en större skillnad noterades mellan den objektsvisa kalibreringsfaktorn och de två varianterna av löpande beräkning. För dessa objekt var antalet utslumpade kontrollbuntar lågt, vilket innebär att underlaget för beräkningen av den objektsvisa kalibreringsfaktorn var begränsat och att det beräknade värdet på faktorn därmed var förknippat med en större osäkerhet.



Figur 10. Trenddiagram för maskin 1, löpande kalibreringsfaktor baserad på de senaste 30 kontrollbuntarna (blå linje), kalibreringsfaktor baserad på de 15 senaste kontrollbuntarna (grå linje) oavsett brytpunkt mellan objekt. Diagrammets raka serier i olika färger med tillhörande siffror indikerar medelvärden för objektsvis kalibreringsfaktor, baserad på objektens samtliga kontrollbuntar. På x-axeln visas totalupparbetade antal kontrollbuntar under studien.



Figur 11. Trenddiagram för maskin 2, ackumulerad kalibreringsfaktor baserad på de senaste 30 kontrollbuntarna, oavsett brytpunkt mellan objekt. På x-axeln visas totalupparbetad kontrollvolym (MTP) under studien och färgerna indikerar de olika objekten. De raka serierna med tillhörande siffror indikerar medelvärden för objektsvis kalibreringsfaktor, baserad på objektens totala kontrollbuntar.

Jämförelse med volym inmätt vid industri

I tabell 3 redovisas en jämförelse mellan den totalt inmätta volymen och i) den ursprungliga totalvolymen från skördarna där ingen kalibrering gjorts av volymen från de flerträdshanterade stammarna samt ii) kalibrerade totalvolymen från kalibrering med objektsvis beräknad kalibreringsfaktor och de två varianterna med löpande beräkning av faktorn. De kalibrerade totalvolymerna redovisas för två nivåer på frekvens för utslumpningen av kontrollbuntarna.

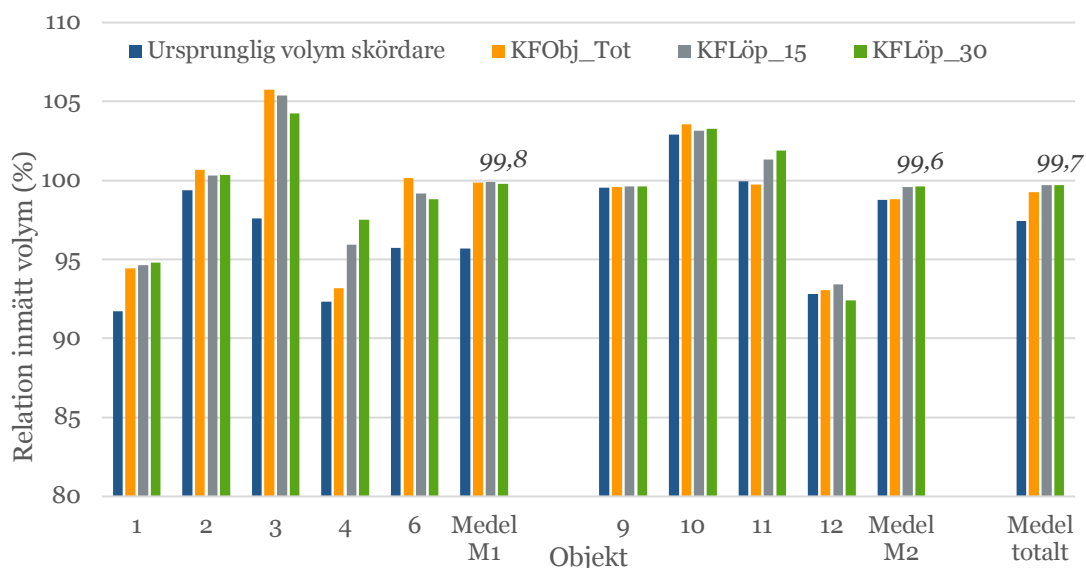
För en slumpningsfrekvens motsvarande det faktiska utfallet i studien var effekten på totalvolymen från kalibrering av den flerträdshanterade volymen likartad mellan de tre kalibreringsalternativen, alltså oberoende av om kalibrering skedde baserat på den objektsvis beräknade kalibreringsfaktorn eller på kalibrering med hjälp av kalibreringsfaktorn beräknad löpande baserat på de 15, alternativt 30 senaste kontrollbuntarna (Tabell 3). I genomsnitt medförde kalibreringen med de tre kalibreringsalternativen att den totala volymen från samtliga objekt ökade med 156 m³fub (1,8 %). Storleken på ökningen skiljde sig markant mellan maskinerna, där ökningen för maskin 1 (3,4 %) var avsevärt högre än för maskin 2 (0,6 %).

I studien varierade den faktiska slumpningsfrekvensen mellan objekt och uppgick i medeltal till 2,7 procent (Figur 3). För att undersöka effekten av en lägre och förmodligen mer praktiskt realistisk slumpningsfrekvens simulerades ett alternativ där antalet kontrollbuntar reducerades motsvarande ett utfall där samtliga objekt haft en slumpningsfrekvens på 1,0 procent (Tabell 3). Effekten på totalvolymen från kalibrering av den flerträdshanterade volymen var för den simulerade slumpningsfrekvensen närmast identisk för de två alternativen med löpande beräkning av kalibreringsfaktorn. Skillnaden mellan kalibrerad totalvolym för dessa två alternativ och alternativet med kalibrering med den objektsvis beräknade kalibreringsfaktorn ökade dock. En möjlig förklaring till den ökade skillnaden i utfall kan vara att det senare kalibreringsalternativet är mer känsligt för en lägre slumpningsfrekvens beroende på att antalet kontrollbuntar från allt fler objekt tenderar att understiga det kritiska antal som krävs för att kalibreringsfaktorn ska stabiliseras (Figur 8 och 9).

I studien var effekten av kalibrering av den flerträdshanterade volymen cirka två procent för samtliga objekt och cirka 3,6 respektive 0,6 procent för de två maskinerna. Det bör understrykas att detta är effekten på den totala volymen, vilken är sammansatt av en dominerande andel enkelträdsupparbetad volym och en mindre andel flerträdsupparbetad volym. Granskar man kalibreringseffekten närmare för enskilda objekt och uttrycker effekten i relation till den flerträdshanterade volymen blir effekten mer påtaglig. För objekt 3, till exempel, innebär effekten av kalibreringen i genomsnitt för de tre kalibreringsalternativen att den flerträdshanterade volymen ökade med 48 m³fub, det vill säga en ökning på 24 procent i förhållande till den ursprungliga volymbestämningen av den flerträdshanterade volymen som uppgick till 198 m³fub. Exemplet understryker vikten av att tillämpa en kalibreringsmodell för flerträdshanterade volymer, när volymbestämningen från skördaren används som underlag för vederlag, som till exempel gentemot skogsägare eller avverkningsentreprenörer.

Tabell 3. Total inmätt volym, ursprunglig totalvolym från skördarna där ingen kalibrering gjorts av volymerna från flerträdshanterade stammar samt kalibrerade totalvolym från kalibrering med objektsvis beräknad kalibreringsfaktor (KF_{Obj_Tot}) och kalibreringsfaktorer beräknade löpande baserat på de senaste 15 ($KF_{Löp_15}$) respektive 30 ($KF_{Löp_30}$) kontrollbuntarna för två olika nivåer på slumpningsfrekvensen. Samtliga volymer är angivna i enheten m^3_{fub} .

Objekt	Inmätt volym	Ursprunglig skördar-volym	Kalibrerad volym utifrån slumpningsfrekvens enligt faktiska utfallet i studien			Kalibrerad volym enligt simulerad slumpningsfrekvens på 1,0 %		
			KF_{Obj_Tot}	$KF_{Löp_15}$	$KF_{Löp_30}$	KF_{Obj_Tot}	$KF_{Löp_15}$	$KF_{Löp_30}$
1	333,0	305,4	318,5	315,1	314,3	314,5	315,1	315,7
2	494,0	490,9	491,7	499,3	497,3	497,3	495,5	495,7
3	969,0	945,8	986,9	997,1	997,5	1 024,5	1 021,1	1 010,3
4	702,0	648,1	668,5	667,0	673,4	654,0	673,4	684,6
6	1 354,0	1 296,4	1 337,3	1 338,5	1 343,0	1 356,1	1 342,7	1 337,8
9	846,0	842,1	842,6	841,6	841,7	842,6	842,9	842,7
10	763,0	785,1	790,2	784,1	783,7	790,2	787,1	787,9
11	2 389,0	2 387,8	2 398,6	2 414,4	2 408,0	2 383,0	2 421,0	2 434,0
12	1 116,0	1 035,7	1 047,5	1 041,2	1 040,9	1 038,7	1 042,5	1 031,1
ΣM 1	3 852,0	3 686,6	3 802,9	3 817,1	3 825,6	3 846,4	3 847,8	3 844,0
ΣM 2	5 114,0	5 050,7	5 078,8	5 081,3	5 074,4	5 054,4	5 093,5	5 095,7
Totalt	8 966,0	8 737,3	8 881,7	8 898,4	8 900,0	8 900,9	8 941,3	8 939,8



Figur 12. Relation mellan total inmätt volym och ursprunglig total volym från skördare samt gentemot kalibrerade totalvolym från kalibrering med objektsvis beräknad kalibreringsfaktor (KF_{Obj_Tot}) och kalibreringsfaktorer beräknade löpande baserat på de senaste 15 ($KF_{Löp_15}$) respektive 30 ($KF_{Löp_30}$) kontrollbuntarna för en simulerad utslumpningsfrekvens på 1 procent för samtliga objekt. Värderna över, respektive under 100 innebär att den inmätta volymen är högre, respektive lägre än volymerna baserade på skördarnas mätning. Siffrorna i kursivt anger medelvärden för maskin 1, maskin 2 och totalt från kalibrering med kalibreringsfaktorn $KF_{Löp_30}$.

I figur 12 redovisas relationen mellan total ursprunglig volym från skördarna och den inmätta volymen, respektive mellan den totala volymen för de tre kalibreringsalternativen och den totala inmätta volymen. Vi antog att volymbestämningen från inmätningen var fri från systematiska fel och givet detta kan den procentuella systematiska avvikelsen för den kalibrerade totalvolymen för de tre kalibreringsalternativen uttryckas som skillnaden mellan de relativa värdena och 100. För den löpande kalibreringen av flerträdshanterad volym baserat på de senaste 30 kontrollbuntarna ($KF_{Löp_30}$) var den systematiska avvikelsen nära noll och uppgick till 0,2 %, respektive 0,4 % för de två maskinerna samt 0,3 % för samtliga objekt. Detta resultat ger starkt stöd för att den föreslagna kalibreringsmetoden har förmåga att kalibrera bort systematiska fel i skördarnas volymbestämning, orsakade av systematiska fel i skördarnas bestämning av volym för flerträdshanterade stammar.

Det tillfälliga felet för den kalibrerade totalvolymen kan uttryckas som standardavvikelsen mellan den totalt inmätta volymen och den kalibrerade totalvolymen för de nio objekten. Det tillfälliga felet för de två alternativen med löpande beräkning av kalibreringsfaktorn påverkades i mindre grad av en minskad utslumpningsfrekvens där standardavvikelsen för båda alternativen ökade med 0,4 procentenheter (Tabell 4). För alternativet då kalibreringsfaktorn beräknades objektsvis var motsvarande effekt starkare och standardavvikelsen ökade med 1,3 procentenheter. På samma sätt som diskuterats ovan, indikerar detta att det senare kalibreringsalternativet är mer känsligt för en lägre utslumpningsfrekvens, då antalet kontrollbuntar från allt fler objekt tenderar att understiga det kritiska antal som krävs för att kalibreringsfaktorn ska stabiliseras.

Tabell 4. Standardavvikelsen i procent för avvikelsen mellan total inmätt volym och kalibrerade totalvolym från kalibrering med objektsvis beräknad kalibreringsfaktor (KF_{Obj_Tot}) och kalibreringsfaktorer beräknade löpande baserat på de senaste 15 ($KF_{Löp_15}$), respektive 30 ($KF_{Löp_30}$) kontrollbuntarna för två olika nivåer på slumpningsfrekvensen av kontrollbuntar.

Slumpningsfrekvens	Kalibreringsalternativ		
	KF_{Obj_Tot}	$KF_{Löp_15}$	$KF_{Löp_30}$
Faktiskt utfall i studien	3,2	3,6	3,5
Simulerad på 1 % för samtliga objekt	4,5	4,0	3,9

Den absoluta nivån på det tillfälliga felet på objektsnivå som uppmättes i vår studie (ca 4 procent) bör betraktas som låg och uppfyller det noggrannhetskrav som ställs i virkesmätningenslagen för inmätning av massaved (Anon 2014). För travmätning av massaved är osäkerheten generellt högre än för skördarnas mätningar av samma sortiment (Strömgren 2020). I vår studie visade resultaten från förarnas egenkontroll att skördarnas mätutrustning var närmast perfekt kalibrerad och genererade låg spridning för längd- och diametermätningen för de enkelträdsupparbetade stammarna (Bilaga 2). Det tillfälliga felet på objektsnivå kan därmed förväntas till största delen bestå av osäkerhet i volymbestämningen vid inmätningen vid industri.

Förarnas synpunkter på modellen

Förarna intervjuades efter avslutad datainsamling. Nedan följer en sammanfattning:

1. Kontrollfrekvens:

- En förare upplevde att kontrollfrekvensen var acceptabel, med avvisningar som endast skedde ibland vid problem.
- Två förare ansåg att kontrollfrekvensen var för hög, vilket påverkade produktiviteten negativt.

2. Om referensstammen:

- Alla förare föredrog att börja ackumulering med en klenare förstastam om förhållanden i skogen tillät det. Att börja med en grövre stam upplevs som ineffektivt för kranrörelser under ackumulering. Enligt förare 1 och 2, riskerar grövre referensstammar att glida ur aggregatet oftare under ackumulering.
- Användningen av referensstammen för att bestämma buntens volym ifrågasattes på grund av förarnas upplevelse av hög diametervariation mellan stammar av samma bunt.
- Stammar utan gagnvirke tas ibland vid flerträdshantering för att underlätta. Ibland händer det att dessa blir en referensstam.

3. Upplevelsen av studieobjektens förutsättningar för flerträdshantering:

- En förare noterade att trakterna generellt var väl röjda med få svåra partier.
- Två förare påpekade att trakterna varierade i densitet och kunde påverka hanterbarheten av buntarna.
- En förare nämnde att egna skogstrakter var väl röjda och lämpade för flerträdsackumulering.
- En förare upplevde att kontrollmätning försvårades i områden med röjd underväxt. Liggande røjstammar kunde ställa till enkelträdsupparbetning under kontrollmätning om dessa följde med matning av en kontrollstam.

4. Rekommenderad kontrollfrekvens:

- En förare ansåg att 3–4 buntar per skift skulle kunna accepteras, beroende på skogens beskaffenhet. (I studien varierade frekvens mellan 6–13 kontrollbuntar per skift.)
- Två förare föredrog en lägre kontrollfrekvens på 1–2 buntar per skift.

5. Övriga synpunkter:

- Förare 1 betonade vikten av smidigare hantering av hqc-filer och automatisk överföring till maskinen från klaven.
- Förare 2 påpekade att avvisningar oftast skedde på grund av tidspress eller vid tekniskt försvårande omständigheter i skogen vid tidpunkten för kontrollbunt.
- Förare 3 föreslog att en alternativ metod för kalibrering av buntens volym borde övervägas.

Val av kalibreringsmodell för praktisk implementering

Studien visar att för att beräkna ett kalibreringstal bör minst 15 buntar avverkas. Nedan beskrivs två möjliga modeller för kalibrering eller justering av flerträdshanterade buntvolym. I studien bestämdes att använda buntens volym i stället för första stammens diameter som oberoende variabel. Detta val visade sig i ett första test vara att

föredra. Den stora variationen i DBH mellan stammar i en bunt var den största bidragande orsaken.

Modell 1. Kalibrering av volym per objekt

För denna modell beräknas en kalibreringsfaktor för samtliga kontrollbuntar som slumpats ut för objektet. I modellen summeras maskinens MTF-volym och enskilda trädsvolymer. Sedan bestäms kvoten för de två volymerna som STP-volym dividerat med MTF-volym. I ett sista steg korrigeras hela objektets MTP- och MTF-svolym med bestämd kvot för objektet.

Denna modell bygger på att mottagaren av hpr-data från skördarna får korrigera volymerna i det mottagande systemet då det ej går att ändra skördardata efter att ett träd har upparbetats och lagrats.

Modell 2. Löpande kalibrering av buntvolym baserat på 15–30 buntar

För modell 2 korrigeras varje bunts volym löpande baserat på de 15–30 senaste kontrollerade buntarnas summerade kvot oberoende av objektstillhörighet. Denna kvot justeras efter varje ny kontrollbunt. Detta innebär att kalibreringen långsamt förändras då den äldsta kontrollbuntens löpande byts ut.

Förslaget är att resultatet som skördaren registrerar i hpr-filen är buntens volym korrigerad med aktuell kalibreringsfaktor. Vid kontroll ska maskinens okorrigerade grundberäknade volym för buntens användas, det vill säga grundvolymen ska normalt inte kalibreras utan endast korrigeras vid registrering i hpr-filen.

Använd kalibreringsfaktor efter varje ny kontrollbunt skulle kunna lagras i antingen hpr-filen eller i hqc-filen i anslutning till utförd kontroll.

Rekommendation

Modell 2 rekommenderas då:

- A) Volymberäkning för maskinen kommer vara klar då en MTP-bunt är processad och lagrad i hpr-filen.
- B) Metoden är löpande och oberoende av ett enskilt objekt, då den har med sig en kalibreringsfaktor från föregående objekt. Detta är en fördel, speciellt för mindre objekt där man inte avverkar önskat antal kontrollbuntar.
- C) Resultatet i studien ger samma eller aningen bättre resultat som att använda objektets alla buntar och korrigera volymen i efterhand.

Modellen kan vara en nackdel för små enskilda objekt om de tidigare avverkade kontrollbuntarna avviker från det aktuella objektet. Dock kommer inte felet bli stort då det för dessa objekt rör sig om en mindre flerträdshanterad volym. Samtidigt visar studien att för en enskild maskin finns det ett samband för kvoten i olika objekt. För att fånga eventuella variationer mellan objekt och träffa så bra som möjligt för små objekt är det en fördel att inte ha mer buntar i kalibreringsunderlaget än nödvändigt. Resultatet visar att minst 15 buntar behövs och med viss marginal skulle 20 buntar kunna provas. I studien har löpande 15 buntar och 30 buntar testats, båda modellerna gav liknade resultat. Resultatet visar också att enskilda buntar kan påverka kalibreringsfaktorn relativt mycket. Detta inträffar när en bunt börjar med en väldigt liten stam följt av betydligt grövre. Därför blir slutsatsen att de 30 senaste buntarna är att föredra framför

15, då effekten av de ovannämnda buntarna begränsas. Modell 2 är lämplig för många av de syften med en kalibrering av flerträdsvolymer, som underlag för ersättning till skördarlag och uppgifter för flödesplanering.

Slutsatsen av studien är att modell 2 rekommenderas med en löpande kalibrering med de 30 senaste buntarna. En slumpfrekvens på 1 procent kan användas initialt. Efter praktisk implementering kan frekvenserna succesivt utvärderas och eventuellt ändras.

Fortsatt utveckling

Vår studie visar att den föreslagna kalibreringsmetoden har förmåga att kalibrera bort systematiska fel i skördarnas volymbestämning, orsakade av systematiska fel i skördarnas bestämning av volym för flerträdshanterade stammar. Studien är dock avgränsad till att omfatta två maskiner och tre förare. Innan en mer storskalig implementering initieras föreslår vi att en efterföljande studie i halvstor skala genomförs, gärna med fler maskintillverkare. I studien kan metodik som föreslås i vår studie användas i syfte att ackumulera praktiska erfarenheter och exponera den underliggande modellen för en större variation av förarbeteenden och beståndsförutsättningar.

Parallellt med en efterföljande studie bör insatser göras för att anpassa StanForD-standarderna i syfte att standardisera den information som behövs för den föreslagna kalibreringsmodellen.

Referenser

Bergkvist, I., Nordén, B. 2003. Flerträdshantering med Timberjack 745. Arbetsrapport 527. Skogforsk.

Bhuiyan, N., Arlinger, J., Möller, J.J., 2011. Utveckling och utvärdering av en standardiserad metod för volymbestämning och stamräkning vid avverkning med flerträdshanterande skördaraggregat. Arbetsrapport 747. Skogforsk.

Brunberg, T., Iwarsson Wide, M., 2013. Underlag för prestationshöjning vid flerträdshantering i gallring. Arbetsrapport 796. Skogforsk.

Grönlund, Ö., Iwarsson Wide, M., Englund, M., 2016. Sektionsgallring – en arbetsmetod för täta, klena gallringar. Arbetsrapport nr 877. Skogforsk.

Anon 2014. KSFS 2014:11 Skogsstyrelsens föreskrifter om virkesmätning. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/lag-och-tillsyn/foreskrifter-efter-amne/virkesmatning/sksfs-2014-11--skogsstyrelsens-foreskrifter-om-virkesmatning.pdf>. Tillgänglig 240527.

Strömgren, M. 2020. Partivis noggrannhet vid skördarmätning 2018 – 2019. Rapport från Biometria. 19 s.

Ågren, K., Möller, J.J., Bhuiyan, N., 2016. Utveckling av en standardiserad metod för kalibrering av volymsbestämning vid avverkning med flerträdshanterade skördaraggregat. Arbetsrapport nr 893. Skogforsk.

Personlig kommunikation

Erik Kindlund, John Deere, Personlig kommunikation, 2023.

Fredrik Tjernberg, Komatsu, Personlig kommunikation, 2023.

Henrik Persson, Logmax, Personlig kommunikation, 2023.

Jonas Gustavsson, Sveaskog, Personlig kommunikation, 2023.

Jonas Hafmar, Södra Skogsägarna, Personlig kommunikation, 2023.

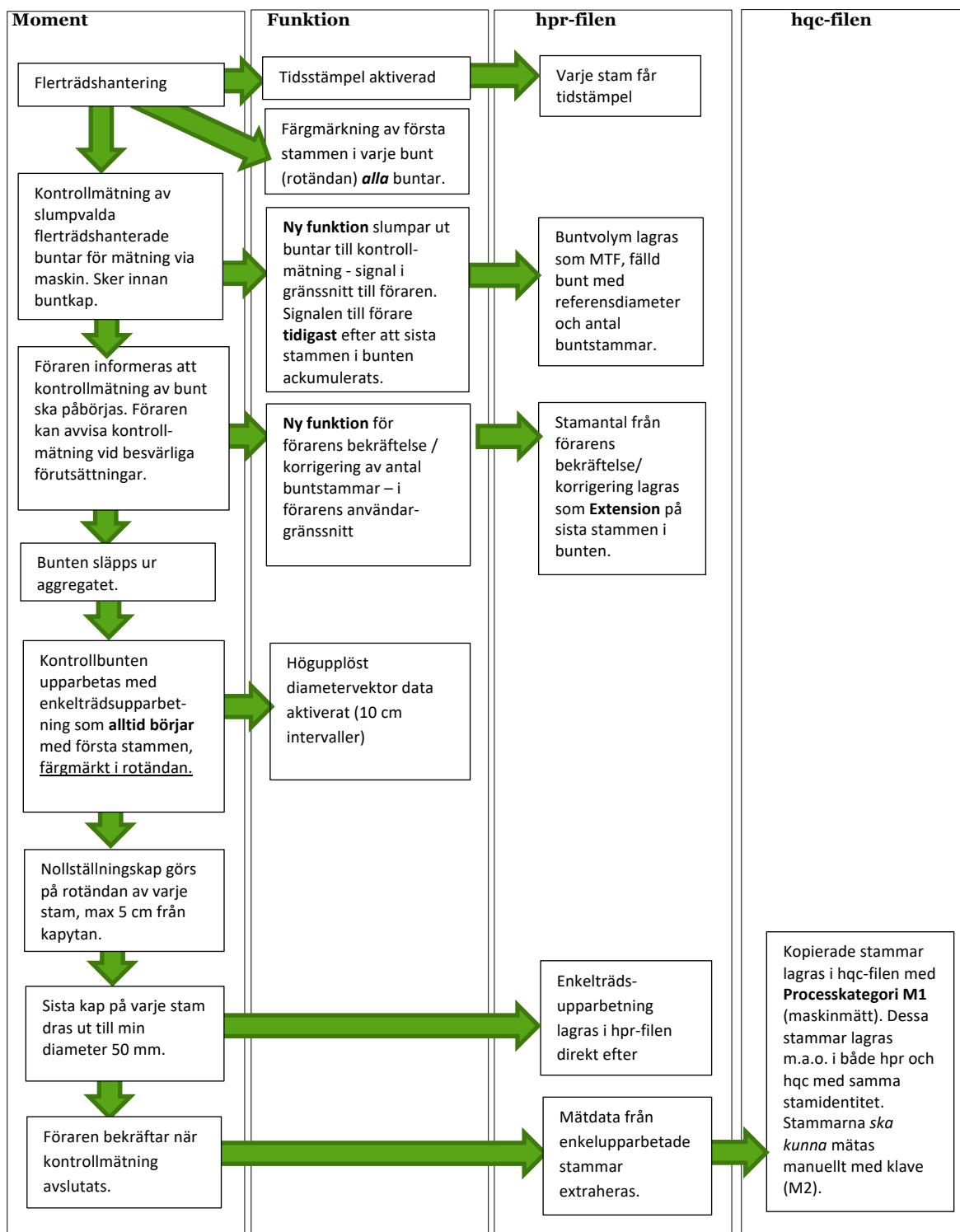
Lars-Erik Andersson, Dasa, Personlig kommunikation, 2023.

Mats Ericsson, Stora Enso, Personlig kommunikation, 2023.

Mattias Bränngård, Stora Enso, Personlig kommunikation, 2023.

Bilaga 1 - Kravspecifikation

Flödesschema som beskriver hur provvolym hanteras och nödvändiga styrsystemfunktioner.



Bilaga 2 - Mätningsskvalitet

Tabell A. Analys av studiemaskinernas diamettermätningsskvalitet enligt kontrollstamrutinen.

Utfall ktr	Analys av alla hqc-filer	Maskin 1	Maskin 2
Antal stammar		42	95
Total medeldifferens mm		0,09	-0,04
Total standardavvikelse mm		3,18	3,15
Inom +/- 4 mm från differens noll %		88,41	87,43
Inom +/- 4 mm från bästa anpassning %		88,41	87,43
Absolut ovalitet mm		1,841	1,317
Inom bästa +/- 4 mm intervall %		88,65	87,43

Tabellen ovan beskriver hur väl maskinernas diamettermätning har fungerat under studiens förlopp. Detta mäts enligt dagens rutin för kontrollstammar som slumpas ut, ca två gånger per skift och där skördarföraren fysiskt mäter kontrollstammarnas diametrar. Data sparas via kvalitetsfiler, så kallad hqc-filer. Tabellen visar på låg medelavvikelse mellan maskinens mätning och referensmätta värden.

Tabell 2 beskriver hur väl maskinernas längdmätning har fungerat under studiens förlopp. Detta mäts enligt samma rutin ca två gånger per skift och där skördarföraren fysiskt mäter kontrollstammarnas längd.

Tabell 2. Analys av studiemaskinernas längdmätningsskvalitet enligt kontrollstamrutinen.

Utfall ktr	Analys av alla hqc filer	Maskin 1	Maskin 2
Antal stammar		42	96
Total medeldifferens cm		0,42	-0,17
Total standardavvikelse cm		1,07	1,32
Inom +/- 2 cm från differens noll %		95,18	94,20
Inom +/- 2 cm från bästa anpassning %		95,18	94,20
Inom bästa +/- 2 cm intervall %		97,59	94,20

Bilaga 3 - Transskript av förarintervjuer

Förare 1 – maskin 1

Kontrollfrekvens

Jag utgick från inställd frekvens av var 20:e bunt. Funktionen att kunna avvisa kontrollbuntar uppskattades då det kunde krångla vid en kontroll. Det hände att jag avvisade kontroller, men inte så ofta. Avvisa måste man göra ibland om en stam hamnar ur aggregatet under ackumulering, det händer inte så ofta i för sig. Det kan hända om det är en grövre stam som fastnar i andra träd. Väldigt stamtäta objekt ställde inte till det särskilt ofta.

Det funkar med var 20:e bunt men det påverkar produktionen. Det blir ett hanteringssteg till och en ekonomisk fråga – man vill känna att det är ok att hålla på, man har ett antal stammar man ska hantera i timmen. Viktigt att hqc-filerna hanteras smidigare för kontrollerna och att man inte behöver ta upp klaven för att skicka filerna till maskinen, det måste kunna skötas automatiskt. Antal kontroller per skift borde rimligen bestämmas av hur skogen ser ut. Tre till fyra buntar per skift skulle kunna accepteras. Om det är jämn skog kan man kanske tåla färre. Beror på vad uppdragsgivaren säger, tjänar de in på att inte behöva mäta vid industrin, kanske finns det visst utrymme för ersättning till oss för fler kontroller.

Om studieobjektens beskaffenhet

Alla trakter var väl röjda i stort. Inslag av stamtäta och svåra partier förekom i liten omfattning.

Om referensstammen

Vad gäller referensstammen, om skogen tillåter tar jag hellre en klenare stam först. Då är det lättare att flytta aggregatet till nästa stam. Ta man en grövre först riskerar kronan på det trädet att hänga upp sig i andra träd när man flyttar aggregatet. Det gör att när man öppnar kvistknivarna, kan en grov första stam pivotera runt ackumuleringsarmarna och göra att rotändan glider ut kvistknivarnas räckvidd och det förstör arbetsmomentet, då man helt enkelt får släppa bunten. Det händer även om maskinen står på lut.

Förare 2 – maskin 2

Kontrollfrekvens

Vi utgick ifrån inställd frekvens av var 20:e bunt, men det blev rätt många avvisade buntar. Det gjordes av flera anledningar. En var att det upplevdes som att kontrollfrekvensen var hög, flera i timmen och sänkte produktiviteten. Av tidspress valde man ofta att avvisa kontroller. I annat fall om skogen var ovanligt tät kunde det upplevas som krångligt att flytta på bunten till ett lämpligare ställe i förhållande till maskinen där enkelupparbetning kunde utföras och där färgmärkning av första stammen kunde synas från hytten.

En till två gånger per skift skulle upplevas som en rimligare börda, men det beror på vad man är i för typ av skog. Det beror också på ersättning, vi får inte extra betalt för att vi kör kontrollerna.

Om studieobjektens beskaffenhet

Trakterna på egen skog var i regel väl underväxtröjda och jämna och där kunde flerträdsackumulering användas i högre utsträckning. Två av testtrakterna var stamtäta köp. Den sista var väldigt svår, det kom snö och snöbrott samtidigt så vi bad om att få avbryta testerna.

Om referensstammen

Referensstammens variation i förhållande till de andra stammarna i bunten är väldigt stor, jag tror inte så mycket på att använda sig av det för att bestämma buntens volym eller kalibrera emot. Jag tenderar att ta en klenare först om jag kan. Tar man en grövre först kan det haka ur aggregatet i sidled när man öppnar kvistknivarna för att ta nästa träd. Det trädet kan hamna ur aggregatet och utanför knivarna, risken är man förstör bunten.

Övrigt

Ibland kan man få i en röstam som referens och den ger ingen volym och kan följas åt av två grova stammar. Då blir det jättekonstigt.

Förare 3 – maskin 2

Kontrollfrekvens

Många provbuntar avvisades, det berodde på dagsform men även på hur skogen såg ut. Kontrollfrekvensen upplevdes som orimligt hög ibland, särskild i skog som var stamtät och där flerträdsfunktionen användes som mest. Det föll ut flera kontrollbuntar i timmen. Helst inte fler än en till två kontrollbuntar per skift. Vi är vana vid testkörning av olika slag, men de flesta andra förare kommer nog inte att kunna stå ut med en frekvens högre än så.

Om studieobjektens beskaffenhet

Vi hade fina trakter, väl röjda när vi var på egen skog.

Om referensstammen

Jag tar hellre en klen stam först i aggregatet om skogen tillåter. Det händer att det blir tvärtom, men det är undantagsfall. Man tar bunten på ett sätt som gör att den grövsta stammen ackumuleras sist. Jag tror inte riktigt på att kalibrera utifrån referensstammen. Ni borde köra ett test där buntens omfamnad mäts av kvistknivarna när bunten fälls.

Övrigt

Upplevdes som störande och frustrerande när kontrollbunten släpptes på marken och det fanns många liggande underväxtröjda stammar under bunten. Dessa kunde följas med när kontrollmätning påbörjades och upplevdes som pillrigt att sortera genom stammarna –

aggregatet tenderar att gunga lite mer när man plockar bland många små stammar på backen. Små träd som inte ger virke tar man ibland med flerträdsfunktionen för det kan vara lätt sätt att få den ur vägen, men man tar aldrig sådana träd i annat fall. Sådana träd som blir referensstammar inte ger volym vill man hellre hoppa över.