

Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 899–2016

Automatisk gallringsuppföljning

Arealberäkning samt registrering av kranvinkel för identifiering av stickvägsträd och beräkning av gallringskvot

Automatic follow-up of thinning

Stand area estimation and use of crane angle data to identify strip road trees and calculate thinning quotient

Nazmul Bhuiyan, Johan J. Möller, Björn Hannrup och John Arlinger



SKOGFORSK

Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 899-2016

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

Titel:

Automatisk gallringsuppföljning.
Arealberäkning samt registrering av kranvinkel för identifiering av stickvägsträd och beräkning av gallringskvot.

Automatic follow-up of thinning.
Stand area estimation and use of crane angle data to identify strip road trees and calculate thinning quotient.

Bildtext:

Vänster: Illustration av kranvinkel.
Höger: Rutnät för arealberäkning.

Ämnesord:

Skördardata, StanForD 2010, gallring, beståndsvariabler.

Harvester data, StanForD 2010, thinning, stand variables.

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



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



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.



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



John Arlinger, SkogL. Anställdes 1996 vid Skogforsk. Han arbetar sedan år 2000 främst med frågor kring StanForD, simulering av virkesutfall och utveckling av mjukvaror kopplade till StanForD och skogsmaskiner. Arlinger är sekreterare för StanForD-gruppen.

Abstract

The aim of this study was to develop some of the key components in a system for automated follow-up of thinning – methods for identifying strip road trees and for calculating stand area and thinning quotient.

Technology for recording crane angle in the harvester's production files (hpr files) has been developed in collaboration with harvester manufacturers. Crane angle information was used to identify strip road trees and calculate the position of the harvester head during felling. Our results showed that the use of crane angle data in combination with a crane angle interval of ± 30 degrees is an efficient way to identify most of the strip road trees.

Two new methods were developed for calculating stand area, based on placing a virtual grid over the thinning site and insertion of information about the position of the base machine and the calculated position of the harvester head respectively. Results showed that the two grid-based methods could estimate the stand area without systematic deviations, even on small sites. This is a significant improvement on the existing method.

A method was developed to calculate the thinning quotient from indirect variables. The direct variables that are needed to calculate thinning quotient showed strong association with the developed indirect variables generated from the production and crane angle data. This indicates that the new method for calculating thinning quotient is promising for incorporation in an automated system for following up thinning.

Förord

Denna rapport är utarbetad inom ramen för projektet ”Automatiserad gallringsuppföljning och beslutsstöd vid gallring baserat på nya produktionsdata från skördare”. Projektet har finansierats av Skogsägarna Norrskogs Forskningsstiftelse, Södra Skogsägarnas Stiftelse för Forskning Utveckling och Utbildning, Stiftelsen Skogssällskapet samt av en intressentgrupp bestående av Bergvik Skog AB, Holmen Skog AB, SCA Skog AB, Stora Enso Skog AB, Sveaskog Förvaltning AB samt Skogforsk.

Avrapportering från projektet sker via ett antal delrapporter. Syftet med den föreliggande delstudien är att utveckla och utvärdera metodik för arealbestämning och beräkning av gallringskvot baserat på en automatiserad identifiering av stickvägsträd. Sådana metoder utgör viktiga komponenter i ett automatiserat system för gallringsuppföljning I samtliga fall baseras metoderna på information som finns tillgänglig i skördarnas produktionsfiler.

Projektet har varit organiserat med styr- och projektgrupp. I styrgruppen har följande personer ingått: Lars Sängstuvall (Bergvik Skog AB), Jonas Eriksson (Holmen Skog AB), Björn Skogh (Norrskog), Per Österberg (SCA Skog AB), Staffan Mattsson (Skogssällskapet Förvaltning AB), Veegard Haanaes (Stora Enso Skog AB), Urban Nordmark/Jonas Gustafsson (Sveaskog Förvaltning AB) och Magnus Lindén (Södra Skogsägarna ek. för.). Projektgruppen har haft en sammansättning enligt nedanstående:

Företag	Namn
BillerudKorsnäs AB	Lars Ohlin
Holmen Skog AB	Robert Johansson
Norrskog	Patrik Svensson och Pedro Arvidsson
SCA Skog AB	Christer Olofsson
Skogssällskapet Förvaltning AB	Andreas Melin
Stora Enso Skog AB	Fredrik Ekelund
Sveaskog Förvaltning AB	Ulf Jonsson och Tobias Norrbom
Södra Skogsägarna ek. för.	Patrik Andersson och Tobias Nilsson

De maskintillverkande företagen John Deere och Komatsu Forest har inom ramen för delstudien utvecklat teknik för registrering av skördarnas kranvinkel och maskinriktning i skördarnas produktionsfiler. Kontaktpersoner från företagen har varit Antti Korkiakosko (John Deere) och Halvard Olderlund (Komatsu Forest). Studieupplägg, kontakter med maskintillverkande företag och analys av data har skett av en arbetsgrupp vid Skogforsk bestående av John Arlinger, Nazmul Bhuiyan, Björn Hannrup och Johan J. Möller.

Ett stort Tack till samtliga som bidragit till studiens genomförande!

Uppsala 2016-04-25

Johan J. Möller (Projektledare)

Innehåll

Förord	1
Summary	3
Sammanfattning	5
Bakgrund	7
Syfte och mål	8
Material och metod	9
Nya maskindata	9
Stickvägsträd baserat på kranvinkeldata	12
Arealberäkning	14
Gallringskvot	18
Datainsamling och maskiner	21
Resultat och Diskussion	22
Arealberäkning	22
Stickvägsträd baserat på kranvinkeldata	27
Gallringskvot i förstagallringar	30
Gallringskvot i senare gallringar	36
Utvecklingsbehov	38
Referenser	39
Bilaga 1. Specifikation för kommunikation med skördardator	41
Bilaga 2. Metod för beräkning av skördarens färdriktning	43
Bilaga 3. Algoritm för arealberäkning	45
Bilaga 4. Metodfel vid bestämning av areal	49
Bilaga 5. Metodfel för nyckeltal som beskriver kvarvarande bestånd	51

Summary

The aims of following up thinning at stand level are to follow-up and improve the quality of thinning and to generate data for updating stand registers. In order to improve existing systems, focus should be on measures that provide faster feedback to the harvester teams and generate more precise data estimates for remaining stands.

Skogforsk has recently developed a method for calculating stand variables after thinning based on harvester production data, and the method has been tested with promising results on a limited dataset. The aim of this study was to develop some of the key components in a system for automated follow-up of thinning – methods for identifying strip road trees and for calculating stand area and thinning quotient.

During the course of the study, technology for recording crane angle in the harvester's production files (hpr files) has been developed in collaboration with harvester manufacturers. Crane angle information was used to identify strip road trees and calculate the position of the harvester head during felling. Two new methods were developed for calculating stand area, both based on placing a virtual grid over the thinning site. Positioning information from the production files was inserted into the grid, and the methods used information about the position of the base machine and the calculated position of the harvester head respectively.

The thinning quotient was defined as the ratio between the basal area weighted mean diameter extracted and the basal area weighted mean diameter after thinning. The first parameter can be obtained with great accuracy from the harvester's diameter measurements. In theory, basal area weighted mean diameter after thinning can be calculated from three variables: basal area weighted mean diameter before thinning for trees between the strip roads, basal area weighted mean diameter for the extraction between the strip roads, and thinning grade between the strip roads. Direct data is not available for these variables. A method was developed in the study to use information in the harvester's production files to estimate corresponding information from indirect variables.

To evaluate the methods for determining stand area, harvester data was collected from 59 plots placed in thinning stands; information from 26 of these plots contained data about crane angle. Calculated plot areas were compared with manual reference measurements generated from the coordinates of the edges of the plots, which were recorded by a hand-held GPS receiver. For 15 of the plots, the harvester production files contained crane angle data, and harvester operator's manual recording of strip road trees and associated data was used to evaluate the method for automatic identification of strip road trees. Data from the same 15 plots was used to evaluate the new method for calculating thinning quotient.

The results showed that the two grid-based methods could estimate the stand area without systematic deviations, even on small sites. This is a significant improvement on the existing method. The two grid-based methods each gave similar results, and we currently recommend that the method based on harvester position be used in systems for automatic follow-up of thinning. The method based on harvester head position has potential for further improvement, but the position of the harvester head position must be determined with greater precision than is currently the case.

Random errors in stand area determination affects the random errors in determining stand variables in an automated system for follow-up of thinning. Calculations showed that, on smaller sites (<2 hectares), these errors had moderate effects. For example, the random error in stand area determination increased the random error in determining basal area after thinning by 2.6 percent units (from 12.8 to 15.4 percent). On larger sites (>2 hectares) the calculations showed that the effect was marginal.

Within the crane angle interval ± 30 degrees (0 degrees = crane facing directly forwards), an average of 83 percent of the manually recorded strip road trees were found using data from the 15 plots. The systematic deviation between basal area weighted mean diameter for the manually recorded strip road trees and the trees within the interval ± 30 degrees was negligible, with a random error of 5 millimetres (3.3 percent). The use of crane angle data in combination with a crane angle interval of ± 30 degrees is an efficient way to identify most of the strip road trees. This makes it possible to automatically and very accurately estimate the mean diameter of the strip road trees by using the harvester production data.

The direct variables that are needed to calculate thinning quotient showed strong association with the developed indirect variables generated from the production and crane angle data. This indicates that the new method for calculating thinning quotient is promising for incorporation in an automated system for following up thinning. This could enable continual follow-up of this variable in a way that has not previously been possible in Swedish forestry.

Sammanfattning

Beståndsvis gallringsuppföljning syftar till att följa upp och förbättra kvaliteten i gallringsarbetet samt generera data för uppdatering av beståndsregister. För att förbättra de system för uppföljning som används idag bör insatser inriktas mot åtgärder som ger snabbare återkoppling till skördarlagen och genererar mer precisa skattningar av beståndsuppgifter för kvarvarande bestånd.

Skogforsk har tidigare utvecklat metodik för beräkning av beståndsvariabler efter gallring baserat på skördarnas produktionsfiler och metodiken har testats med lovande resultat på ett begränsat datamaterial. Den här avrapporterade studien syftade till att vidareutveckla några av nyckelkomponenterna i ett system för automatiserad gallringsuppföljning; metoder för identifiering av stickvägsträd samt för beräkning av åtgärdsareal och gallringskvot.

I samarbete med skördartillverkande företag utvecklades i studien teknik för registrering av kranvinkel i skördarnas produktionsfiler (hpr-filer). Kranvinkelinformationen användes för identifiering av stickvägsträd och beräkning av skördaraggregatets position vid fällning av stammarna. För beskrivning av åtgärdsareal utvecklades två nya metoder, båda baserade på att ett virtuellt rutnät lades över gallringsobjekten. I rutnätet infogades positionsinformationen från produktionsfilerna och de två metoderna för arealbestämning baserades på information om basmaskinens position, respektive beräknad position för skördaraggregatet.

Gallringskvoten var i studien definierad som kvoten mellan grundtyevägd medeldiameter i uttaget och grundtyevägd medeldiameter efter gallring där den förra parametern kan erhållas med hög precision utifrån skördarnas diametermätning. Den grundtyevägd medeldiameter efter gallring kan teoretiskt beräknas från de tre variablerna grundtyevägd medeldiameter före gallring för träden mellan stickvägarna, grundtyevägd medeldiameter för gallringsuttaget mellan stickvägarna och gallringsstyrkan mellan stickvägarna. Direkta data för dessa tre variabler är inte tillgängliga och i studien utvecklades metodik för att utifrån informationen i skördarnas produktionsfiler skatta motsvarande information från indirekta variabler.

För utvärdering av metoderna för arealbestämning samlades skördardata från 59 provytor utlagda i gallringsobjekt, varav informationen från 26 av provytorna innehöll kranvinkeldata. Utvärdering skedde genom jämförelse med provytearealer från manuella referensmätningar genererade från koordinaterna för provytornas yttergränser vilka registrerats med en handburen GPS-mottagare. För 15 av provytorna innehöll skördarnas produktionsfiler kranvinkeldata samt av skördarförarna utförd manuell registrering av stickvägsträden och dessa data användes för att utvärdera metodiken för automatisk identifiering av stickvägsträd. Data från samma 15 provytor användes för att utvärdera den nya metodiken för beräkning av gallringskvot.

Resultaten från utvärderingen av metodiken för arealbestämning visade att det med de två rutnätsbaserade metoderna var möjligt att skatta areal utan systematiska avvikelser även för mindre objekt. Detta är ett betydande framsteg i förhållande till den metodik som tidigare utvecklats. De två rutnätsbaserade metoderna gav inbördes likartade resultat och i dagsläget rekommenderar vi att metoden baserad på skördarposition används i system för automatisk gallringsuppföljning. Metoden baserad på aggregatposition har potential att förbättras ytterligare men detta kräver att bestämningen av aggregatets position kan ske med en högre precision än som är fallet i nuläget.

Beräkningar av inverkan av de tillfälliga fel som förekommer i arealbestämningen på skattningen av nyckeltalen i ett automatiserat system för gallringsuppföljning visade på måttliga effekter för mindre objekt (<2 hektar). Till exempel medförde det tillfälliga felet i arealbestämningen att det tillfälliga felet vid bestämningen av grundyta efter gallring ökade med drygt två procentenheter (från 12,8 till 15,4 procent). För större objekt (>2 hektar) indikerade beräkningarna att inverkan var marginell.

Inom kranvinkelintervallet +/- 30 grader (0 grader = kranen riktad rakt framåt) återfanns i genomsnitt 83 procent av de manuellt registrerade stickvägsträden utifrån data från de 15 provytorna. Den systematiska avvikelsen mellan grundyttevägd medeldiameter för de manuellt registrerade stickvägsträden och träden inom intervallet +/- 30 grader var försumbar med ett tillfälligt fel på 5 millimeter (3,3 procent). Detta innebär att användande av kranvinkeldata i kombination med ett kranvinkelintervall om +/- 30 grader är ett effektivt sätt för att identifiera huvuddelen av stickvägsträden och som möjliggör att stickvägsträden medeldiameter kan skattas automatiskt med mycket hög precision utifrån skördarnas produktionsdata.

De direkta variabler som är nödvändiga för beräkning av gallringskvot visade starka samband med de utvecklade indirekta variablerna, genererade utifrån produktions- och kranvinkeldata. Detta indikerar att den nya metodiken för beräkning av gallringskvot är lovande för inbyggnad i ett automatiserat system för gallringsuppföljning, vilket i förlängningen kan möjliggöra löpande uppföljning av denna variabel på ett sätt som tidigare inte varit möjligt i svenskt skogsbruk.

Bakgrund

Bestandsvis gallringsuppföljning syftar till att följa upp och förbättra kvaliteten i gallringsarbetet samt generera data för uppdatering av bestandsregister. Tidigare har en modell för *automatiserad* gallringsuppföljning tagits fram (Möller m.fl., 2011) vilken baseras på trädvis information från skördarnas produktionsfiler. Vidare har ett beslutsstöd för gallringsskördare utvecklats vilket löpande ger information om gallringsuttaget samt beräknar gallringsstyrka och bestandsvariabler för det kvarvarande beståndet (Möller m.fl., 2015). Genomförda utvärderingar har visat att beräknade bestandsvariabler från det framtagna systemet ger en precis beskrivning av det kvarvarande beståndet efter gallring (Hannrup m.fl., 2011; 2015) samt att det utvecklade beslutsstödet ger värdefull information om det pågående gallringsarbetet till skördarförarna (Möller m.fl., 2015).

Flera av de beräknade nyckeltalen vid automatisk gallringsuppföljning baseras på information om avverkad areal. Den tidigare framtagna algoritmen för automatiserad beräkning av areal är uppbyggd för att utnyttja koordinater i skördarnas produktionsfiler (Möller m.fl., 2011). I dagens skördare är GPS-mottagaren normalt monterad på förarhytten, vilket innebär att det är koordinaterna för skördarens uppställningsplats som registreras då respektive träd avverkas. Utvärdering av algoritmen för arealbestämning har visat på god överensstämmelse mellan beräknad och referensmätt areal för större objekt (>3 hektar) medan större, systematiska avvikelser noterades för mindre objekt (Hannrup m.fl., 2011). Dessa avvikelser var företrädesvis kopplade till objektens yttergränser. Algoritmens uppbyggnad i kombination med att indata var begränsad till information om skördarens uppställningsplatser medförde att fall där skördaren kört i objektets yttergräns inte kunde separeras från fall där skördaren kört inne i objektet parallellt med yttergränsen. För att nå en godtagbar noggrannhet för arealbestämningen även för mindre objekt i ett automatiserat system för gallringsuppföljning är det därmed angeläget att metodiken för arealbestämning vidareutvecklas.

Ett potentiellt angreppssätt för att förbättra noggrannheten vid automatisk arealbestämning är att utöka den grundläggande informationsmängden om de avverkade trädens positioner. Simuleringar har indikerat att det vore möjligt att erhålla en mycket noggrann arealbestämning, oberoende av arealstorlek, ifall information om kranens vinkel relativt basmaskinen vid fällning av stammarna skulle vara inkluderad i skördarnas produktionsfiler (Hannrup m.fl., 2011). Detta som en följd av att objektets yttergränser därigenom kan avgränsas på ett precisare sätt. För att erhålla ett tydligare svar huruvida detta är en framkomlig väg för att förbättra arealskattningen är det viktigt att de positiva resultaten från simuleringarna följs upp med försök från gallringsobjekt där information om kranvinklar vid fällning, alternativt information om de enskilda trädens position, gjorts tillgänglig.

Tillgång till kranvinkelinformation medför andra potentiella möjligheter i ett automatiserat system för gallringsuppföljning. Information om kranens vinkel vid fällning bör kunna utnyttjas för att identifiera stickvägsträd i förstagallringsobjekt. Kan en precis identifiering av stickvägsträden göras med hjälp av kranvinkeldata öppnar det möjligheter att skatta medeldiametern före gallring vilket

indikerats i tidigare studier (Stendahl & Dalin, 2002). I förlängningen skulle detta kunna medföra att den metodik som används för beräkning av gallringskvot i det nuvarande systemet för automatiserad gallringsuppföljning skulle kunna förfinas. Det är dock viktigt att giltigheten i ovanstående resonemang kan undersökas med hjälp av väl tilltagna datamängder inhämtade från försök utlagda i gallringsobjekt.

Syfte och mål

Den här avrapporterade studien ingick i projektet ”Automatiserad gallringsuppföljning och beslutsstöd vid gallring baserat på nya produktionsdata från skördare”. Det övergripande syftet med projektet var att:

- Utveckla och testa beslutsstöd för gallringsskördare som i realtid ger information om uttagen och kvarlämnad grundyta, gallringsstyrka och gallringskvot.
- Vidareutveckla och på ett rikstäckande material utvärdera det tidigare utvecklade systemet för automatiserad gallringsuppföljning (Möller m.fl., 2011).

Projektet har varit uppbyggt av ett antal delstudier där utvecklingsinsatser kring beslutsstöd för gallringsskördare och övergripande systemutvärdering baserat på ett rikstäckande material har avrapporterats i separata rapporter. I den nu avrapporterade delstudien särstuderas några av de kritiska komponenterna i ett automatiserat system för gallringsuppföljning. Målen för delstudien var att *utveckla och utvärdera metodik* för:

- Beräkning av åtgärdsareal.
- Automatisk identifiering av stickvägsträd.
- Beräkning av gallringskvot.

Den metodik som utvecklas ska baseras på en förfinad positionsbestämning av enskilda träd genom kranvinkelregistrering i skördarna. Att i nära samverkan med skördartillverkande företag utveckla sådan teknik har varit en viktig del av projektarbetet.

Tillgång till kranvinkelinformation kan potentiellt användas även för beräkning av stickvägsparametrar som stickvägsandel och stickvägsavstånd. Utveckling av sådan metodik har dock inte gjorts inom ramen för vår studie.

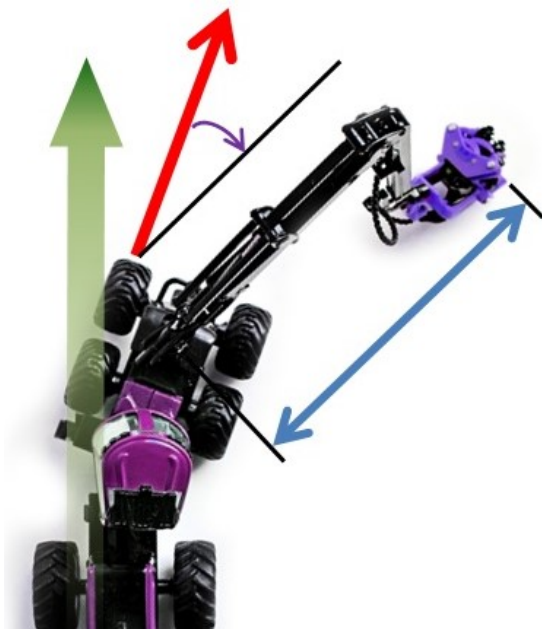
Material och metod

NYA MASKINDATA

Två av de på marknaden ledande maskintillverkande företagen, John Deere och Komatsu Forest, ställde upp på att utveckla teknik vilken testades i projektet. Efter separata diskussioner med representanter från de två företagen konstruerades en specifikation för varje företag innehållande vilka data som behövde hanteras och hur dessa data skulle kommuniceras mellan företagens system och Skogforsks testprogram. Aggregatets position skulle för båda företagen bestämmas utifrån information från den befintliga GPS:en på basmaskinen som utgångspunkt. Vidare skulle information som finns i dagens styrsystem tillvaratas då befintliga sensorer skulle utnyttjas. Sådana lösningar är av karaktären att de har möjlighet att snabbt få genomslag i praktiskt skogsbruk eftersom de ej är beroende av ny hårdvara på skördarna och där de beräknade positionerna kan inkluderas i skördarnas standardiserade produktionsfiler, så kallade hpr-filer. För att bestämma aggregatets position utifrån ovan angivna förutsättningar krävs att befintlig data kompletteras med information om:

- Skördarens färdriktning.
- Kranens vinkelutslag relativt skördarens framdel.
- Hur långt ut kranen har sträckts.

I Figur 1 preciseras dessa mått där grön pil illustrerar färdriktningen, lila pil kranens vinkelutslag och blå pil utmatad kranlängd.



Figur 1.

Illustration av färdriktning (grön pil), kranvinkel (lila pil) och kranlängd (blå pil).

Aggregatets position kunde utifrån dessa data bestämmas genom att utgå från basmaskinens position och lägga till en förflyttning motsvarande utmatad kranlängd i aktuell färdriktning justerad med kranvinkelutslaget. En felkälla i denna ansats som direkt kan ses i Figur 1 är skillnaden i riktning mellan färdriktningen (grön pil) och framdelens riktning (röd pil), vilken är svår att korrigera för då färdriktningen är en skattning och inte entydigt bestämd.

De givare som används i skördare för bestämning av kranvinkel kan förväntas ge mätvärden med mycket hög precision. För att rimlighetskontrollera de kranvinkelvärden som registreras i hpr-filen gjordes en mindre undersökning för en John Deere och en Komatsu skördare vid två tillfällen för varje skördare. Vid dessa tillfällen gjordes en manuell skattning av kranvinkeln vid fällning av totalt 162 stammar. De manuellt skattade kranvinkelvärdena jämfördes med de kranvinkelvärden som registrerats för samma stammar i hpr-filerna. Resultaten från jämförelsen visade på mindre avvikelse mellan de två bestämningarna (Tabell 1) där de noterade avvikelserna sannolikt är kopplade till osäkerhet i den manuella bestämningen av kranvinkel. Utifrån denna kontroll drogs slutsatsen att de kranvinkelvärden som registrerades i hpr-filerna var rimliga och användbara i studien.

Tabell 1.
Jämförelse mellan kranvinkel registrerad i skördarnas hpr-filer vid två tillfällen per skördare och manuellt skattad kranvinkel.

Skördare	Tillfälle	Antal träd	Genomsnittlig avvikelse (°)
John Deere	1	21	5
John Deere	2	17	2
Komatsu	1	87	3
Komatsu	2	37	0

Registrering av nya data

I dagens styrsystem (hos de skördartillverkare som medverkade i studien) finns inte tillräcklig sensorinformation för att beräkna hur långt ut aggregatet befinner sig från basmaskinen. Denna information gavs därför som ett medeltal från respektive system. Däremot kunde kranens vinkelutslag i sidled erhållas från styrsystemen och skördarens färdriktning erhållas från data från den befintliga GPS:en. De data som erhöles från systemen blev således:

- Skördarens färdriktning: hela grader där 0° är norrut, 90° är österut, 180° är söderut och 270° är västerut.
- Kranens vinkel relativt skördarens framdel: hela grader där 0° är rakt framför, 90° är rakt ut åt höger, 180° är rakt bakåt och 270° är rakt ut åt vänster.
- Medellängd för aggregatets avstånd från basmaskinen (default 9 meter i Komatsu och 7 meter hos John Deere).

Utöver dessa data förmedlades även information om GPS:ens status vid registreringen av ovanstående data i form av:

- Ett mått på den horisontella precisionen (HDOP – Horizontal Dilution Of Precision).
- Antal tillgängliga satelliter.

Ett utdrag ur den specifikation som skickades till John Deere och Komatsu Forest kan ses i Bilaga 1. Samtliga data registrerades per stam genom att befintliga produktionsdata utökades på stamnivå med så kallade extensions i hpr-filerna. Hur dessa utökningar av stamvisa data utformades av respektive företag framgår också av Bilaga 1.

Kommunikation mellan skördarens styrsystem och testprogrammet

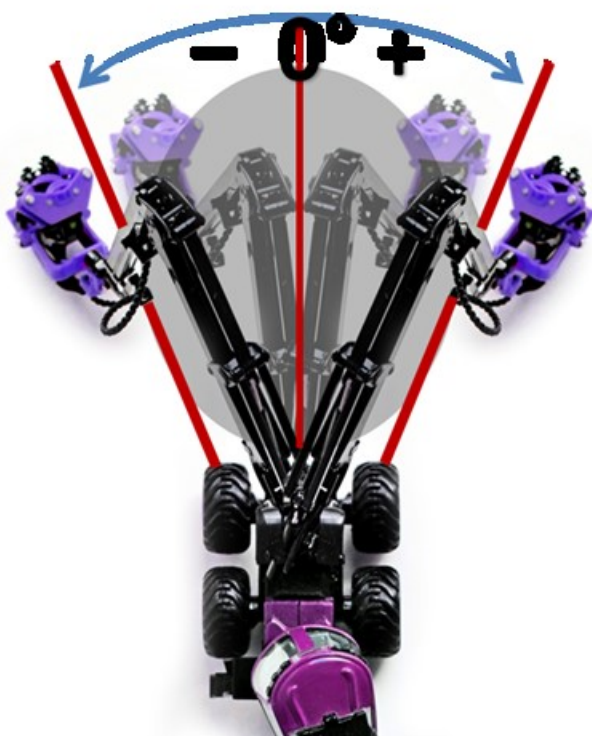
Förutom att lägga ut nya data i hpr-filerna anpassade tillverkarna även sina apteringsprogram så att de skickade ut data för varje avverkat träd till testprogrammet. Metoden som användes för datakommunikation skilde dock mellan de två företagen. Komatsu Forest valde en filbaserad lösning och John Deere valde en lösning där data skickades direkt från styrsystem till testprogram utan att skrivas till fil på disk. Komatsu Forests lösning innebar att separata hpr-filer sparades efter varje avverkat träd i en bestämd katalog tillägnad Skogforsks testprogram, medan John Deeres variant innebar att information om varje träd sändes över i en xml-datasträng enligt stamstrukturen i StanForD 2010:s hpr-filer med hjälp av ett dataöverföringsprotokoll som kallas UDP (User Datagram Protocol) allteftersom träd avverkades. För Komatsu Forests del bevakade testprogrammet därför en bestämd katalog medan det för John Deeres del bevakade datatrafik på ett specifikt portnummer på datorn.

Beräkning av skördarens färdriktning

Att beräkna skördarens färdriktning i testprogrammet visade sig vara nödvändigt då initiala tester visade att färdriktningen redovisade från ett flertal GPS:er hade brister. Den framtagna metodiken för beräkning av färdriktning baserades på koordinaterna för skördarens uppställningsplats som registreras vid fällning/upparbetning av varje träd. Algoritmens huvudprincip är att gruppera positioner och att arbeta med två grupper åt gången mellan vilka riktningar beräknas och tillsätts till den första av grupperna. Algoritmen styrs i huvudsak av två tal varav det ena är största tillåtna avstånd mellan stammar för att dessa ska kunna anses tillhöra samma grupp. Överskrids detta avstånd påbörjas en ny grupp. Det andra talet är största tillåtna avstånd mellan grupper för riktningstilldelning mellan grupper. Överskrids detta avstånd används antingen den färdriktning som följde med den senaste stammen eller den senaste tilldelade riktningen om en sådan finns. En teknisk beskrivning av proceduren finns i Bilaga 2. Färdriktningen är nödvändig då kranvinkeldata användes vid beräkning av arealen.

STICKVÄGSTRÄD BASERAT PÅ KRANVINKELDATA

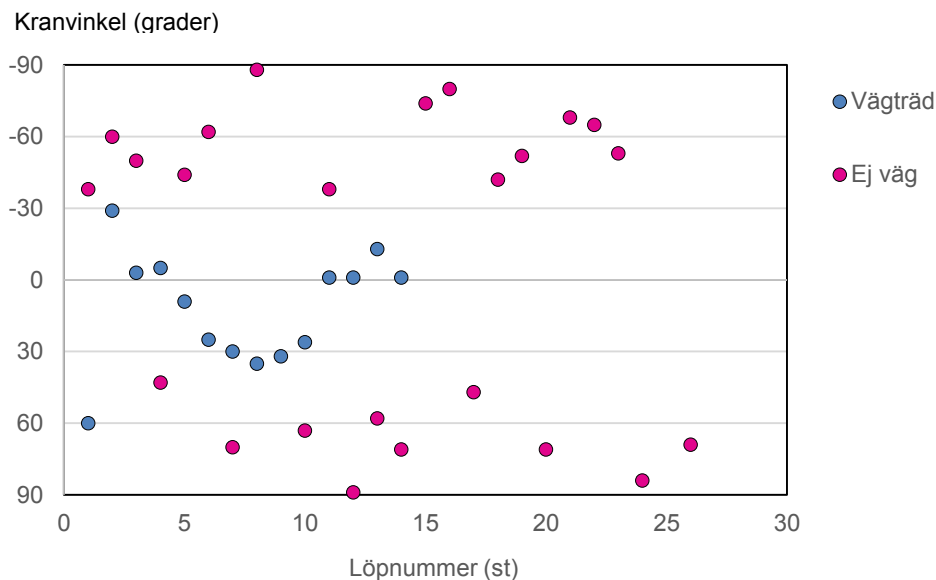
En viktig del av studien var att utvärdera möjligheten att automatiskt identifiera stickvägsträd utifrån erhållen kranvinkel. Identifieringen av stickvägsträd byggde på antagandet att de träd som avverkas i stickvägen fälls i en relativt snäv vinkel framför maskinen och att man genom att definiera ett sådant vinkelintervall kan skilja stickvägsträden från träd som gallrats bort mellan stickvägarna. Figur 2 illustrerar ett exempel på arbetsområde framför skördaren för vilket de avverkade träden kan särredovisas från träd avverkade utanför området. För resultatredovisningen har skalan för kranvinkelutslaget omdefinierats enligt följande: 0° är rakt framåt, $+90^\circ$ är rakt ut åt höger och -90° är rakt ut åt vänster.



Figur 2.
Illustration av snäva kranvinklar för identifiering av stickvägsträd med definition av kranvinkelutslag som används i resultatredovisningen.

För att kunna relatera kranvinkel till uttagna stickvägsträd registrerades stickvägsträden manuellt med en knapptryckning av maskinföraren. För detta ändamål användes den funktion som finns för registrering av biobränsleanpassning. Stickvägsträden kunde sedan identifieras med hjälp av den stamvisa indikatorn för biobränsleanpassning i produktionsfilerna. I analyserna kunde sedan prognosutfallet av stickvägsträd utifrån kranvinkel testas genom att sätta olika brytgränser för kranvinkeln där endast träd som låg inom vinkelutslaget togs med i jämförelsen med referensen i biobränsleanpassningsindikatorn.

Inledande tester på två objekt per skördartillverkare indikerade att vinkelintervallet ± 30 grader var lämpligt för att skilja ut stickvägsträden från gallringsträden (Figur 3). I de fortsatta analyserna användes detta vinkelintervall och kvantifiering av hur stor andel stickvägsträd som kunde identifieras automatiskt gjordes utifrån data från totalt 15 förstagallringar.



Figur 3. Tjugoåtta avverade träd från de inledande testerna med kranvinkelregistrering och manuell registrering om trädet är stickvägsträd (blå cirklar) eller beståndsträd (röda cirklar).

En notering i sammanhanget, som troligtvis inte har någon större betydelse i andra tillämpningar men som kan ha en liten inverkan på en automatisk identifiering av stickvägsträd, var Komatus placering av kranen jämsides med förarhytten (Figur 4).



Figur 4. Illustration av Komatus placering av kran jämsides med förarhytt.

Kranens placering innebär att aggregatet inte befinner sig mitt framför maskinen då hytten är riktad rakt framåt. För att placera aggregatet rakt framför maskinen krävs det att hytten och kranen vrids lite lätt åt vänster. Denna förflyttning uppskattas motsvara ett kranvinkelutslag om 5 grader.

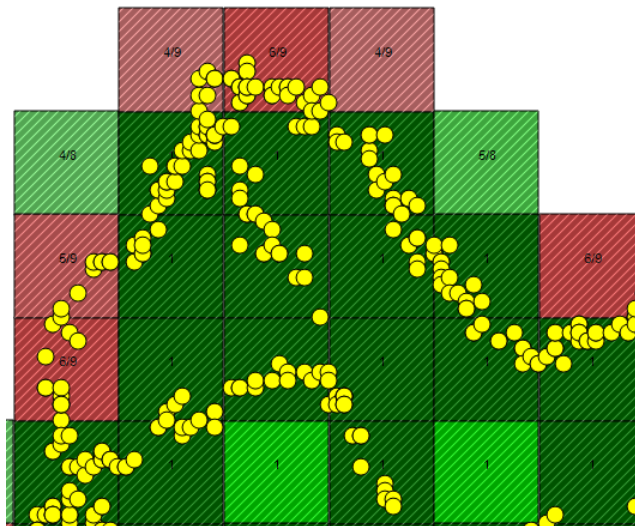
AREALBERÄKNING

För att kunna beräkna arealbaserade nyckeltal kontinuerligt krävs det att den beräknade arealen uppdateras löpande allteftersom nya träd avverkas. Vidare skulle förarstödet köras från skördarens apertingsdator och det var därför angeläget att arealberäkningsmetoden var resurssnål med avseende på minnesutrymme och beräkningskraft för att undvika onödig belastning på datorn. I studien utvecklades två metoder baserade på att ett virtuellt rutnät lades över gallringsobjektet och som båda uppfyllde kraven på kontinuerlig arealuppdatering och lågt resursutnyttjande.

I studien utvärderades tre metoder för arealbestämning; de två nyutvecklade metoderna som utnyttjar ett rutnät utlagt över gallringsobjektet samt den tidigare utvecklade grafiska metoden (Hannrup m.fl., 2011). Huvuddragen för de tre utvärderade metoderna beskrivs nedan. Ytterligare beskrivning av Metod 1 och 2 finns i Bilaga 3.

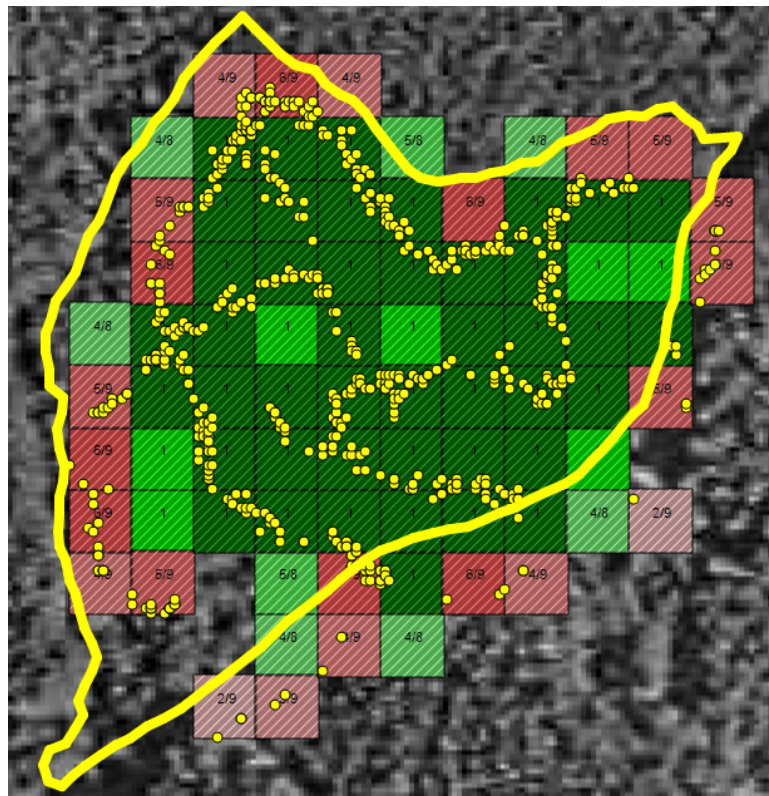
1. Arealberäkning utifrån rutnät baserad på information om basmaskinens position.

Det utlagda rutnätet täcker gallringsobjektet och dess rutor kan bidra till objektets totala areal i olika mån. Rutnätet kan vara statiskt då hpr-filer läses in manuellt eller så kan det växa kontinuerligt om nya träd förväntas tas emot av prototypprogrammet. I Figur 5 illustreras principen för arealberäkning närmare.



Figur 5.
Exempel på rutnätsbaserad arealskattning med 13 meters kvadrat. Alla gröna ytor räknas med i arealen, ljusgröna är tomma (har inga avvergade stammar) men ingår ändå i arealen, då fler än 5 grannar har stammar registrerade. Alla mörkgröna ytor innehåller avvergade stammar. Röda ytor är ytor med avvergade träd men där inte hela ytans areal tas med i beräkningen för att undvika kanteffekter. Siffran på rutan anger dess andel som ingår i arealen.

Gula cirklar symboliserar koordinaterna för skördarens uppställningsplatser vid avverkning av träd vilka registrerats i hpr-filen. Mörkgröna rutor är områden där maskinen har varit i samband med avverkning av minst en stam. De ljusgröna rutorna med siffran 1 är områden som inte skördaren stått i vid avverkning men som har minst 6 grannrutor där avverkning har skett. Röda, respektive ljusgröna rutor med en siffra som avviker från 1 är delade, d.v.s. de bidrar med en reducerad andel av den egna arealen till totalarealen. Dessa rutor har 5 grannar eller färre med avverkade stammar (räknat i ett 3×3 rutmönster runt rutan inklusive den egna rutan). I de röda rutorna har skördaren stått då den avverkat träd medan den inte stått i någon av de ljusgröna rutorna vid upparbetning. Siffrorna i rutorna anger arealbidraget, d.v.s. hur stor andel av den enskilda rutans areal som ska tas med vid summeringen av total areal. I Figur 6 nedan visas med den gula linjen manuellt registrerad avdelningsgräns. I södra kanten av avdelningen var differensen mellan kontroll och rutnätet stor då skördaren kört på basvägen utanför avdelningen och avverkat norrut in i avdelningen.

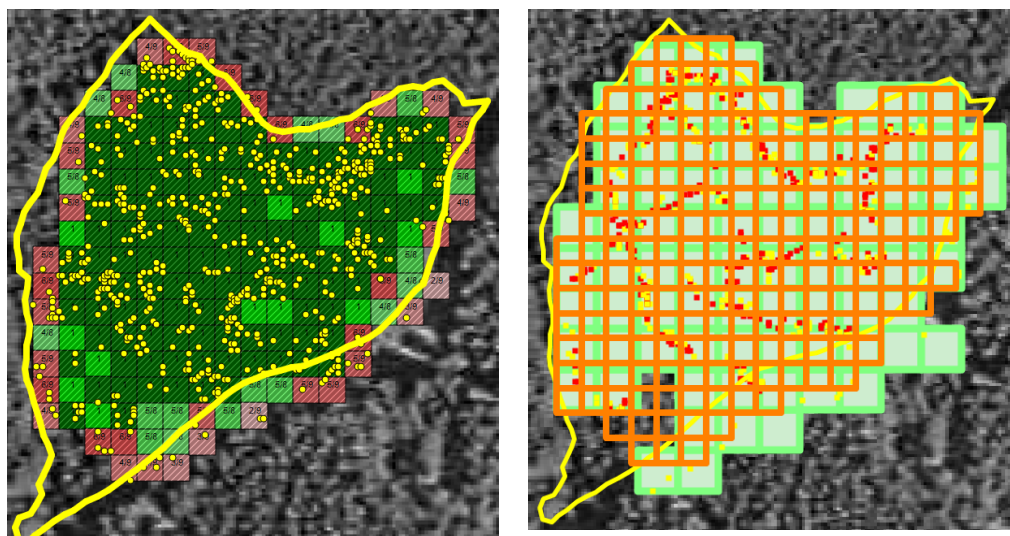


Figur 6.
Exempel på rutnätsbaserad arealskattning med 13 x 13 meters kvadrat och maskinposition. I figuren illustreras rutnätet som har skapats för en avdelning avverkad i norra Uppland och manuellt registrerad avdelningsgräns har ritats ut med en gul linje.

2. Arealberäkning utifrån rutnät baserad på information om basmaskinens position och kranvinkelinformation.

Vid användning av kranvinkelregistrering i maskinen och för beräkning av areal sprids träden ut över avdelningen jämfört med att bara använda maskinens position för trädet (Figur 7). Om kranvinkeln är 0 så är trädets position ett förinställt avstånd för kranlängden, 8 meter för Komatsu och 7 meter för John Deere, ut från maskinen i maskinens färdriktning. Är kranvinkel + eller - 90 grader innebär det att positionen blir maskinens position och sedan 7–8 meter ut +/- 90 grader i relation till färdriktningen. Om man använder en GPS utan mätfel så betyder det att trädpositioner +/- förinställd längd kommer att registreras (7–8 meter). Om stickvägsavståndet är 20 meter så kommer en zon på 5–7 meter mitt mellan stickvägarna inte innehålla några träd. Då GPS har ett mätfel på 5–10 meter så kommer normalt ändå detta område innehålla stammar, se Figur 7 nedan.

I Figur 7 visas rutnätet, med 7×7 meters kvadrater, som skapas vid användning av kranvinkelregistrering med orange färg och under ligger rutnätet skapat från maskinens position, med 13×13 meters kvadrater med ljusgrön färg. Dessutom finns manuellt registrerad avdelningsgräns med gul färg. Skillnaden mellan de två rutnäten i exemplet nedan finns främst i södra kanten, där de träd som maskinen stått på vägen och avverkat nu flyttas mer in i skogen norrut, därigenom flyttas också gränsen norrut på ett mer korrekt sätt. Ett område i söder får i stället ökad areal då stammarna vid kranvikelanvändning sprids över ett större område som tidigare inte innehöll stammar.



Figur 7 a och b.

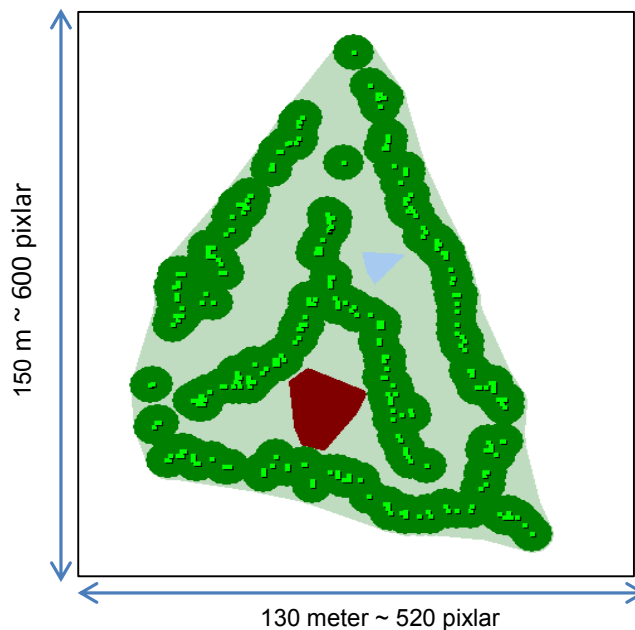
I figur a illustreras samma objekt som i figur 6 ovan men med areal beräknad baserad på maskinens kranvinkel och maskinens koordinater vid avverkning och 7 x 7 meters rutstorlek. Avdelningens manuellt registrerade gräns är illustrerad med en gul linje. I figur b visas skillnaden mellan areal beräknad med maskinens position och kvadrater med 13 x 13 meters kvadrat (grön) respektive areal beräknad med kranvinkelposition och 7 x 7 meters kvadrater (orange).

3. Grafisk arealberäkning enligt 2011 års modell.

Den tidigare framtagna metoden för arealberäkning var grafisk, vilket innebär att algoritmen räknade de andelar av en uppritad kartbild som bidrog till gallringsobjektets areal. Metoden är närmare beskriven av Hannrup m.fl. (2011) och innehåller fyra delsteg:

- I) Utläggning av cirkelformade buffertzoner med 5 meters radie runt skördarens uppställningsplatser. Buffertzonerna representerade skördarnas "genomsnittliga" arbetsområde.
- II) Dragning av rektangulära band med bredden 10 meter mellan avverkningsplatser med ett inbördes avstånd som understeg 24 meter. Arealen som täcks av de rektangulära banden motsvarar arealen mellan stickvägarna.
- III) Identifiering av håligheter inne i objektet där ingen avverkning skett.

Vid den slutliga beräkningen av total areal läggs objektet på en rektangulär yta med känd area (Figur 8). Arealen för objektet bestäms därefter genom att programmet först räknar andelen pixlar för behandlad areal i förhållande till rektangelns totala pixelantal och sedan omvandlar andelen pixlar till areal genom kännedom om förhållandet mellan rektangelns totala pixelantal och area.



Figur 8.

Illustration av hur arealen definieras som en andel av en rektangulär yta med känd area. Ljust gröna små cirklar symboliserar koordinaterna för skördarnas uppställningsplatser. De mörkt gröna cirkelarna motsvarar buffertzonen d.v.s. de cirkel med fem meters radie som i algoritmens första steg läggs runt positionerna för skördarnas uppställningsplatser. Den ljusgröna färgen symboliserar de band som i algoritmens andra steg knyter samman uppställningsplatserna med ett inbördes avstånd som inte överstiger 24 meter.

Utvärdering av de tre metoderna för arealbestämning gjordes genom jämförelse mot areal från manuell referensmätning. Vid den manuella referensmätningen registrerades koordinaterna för provytornas yttergränser med en handburen GPS-mottagare och koordinaterna från dessa GPS-spår användes för att beräkna provytornas areal. En första manuell referensmätning gjordes för samtliga provytor och för en delmängd om 18 provytor gjordes en upprepade manuell referensmätning. Vid det andra mättillfället gjordes mätningarna av samma person och med samma GPS-mottagare.

Vid utvärderingen varierades kvadratstorleken för de två rutnätsbaserade metoderna.

GALLRINGSKVOT

Beräkning av gallringskvot i förstagallringar

I projektet gjordes ansträngningar för att vidareutveckla metodiken som används för beräkning av gallringskvot. Kvoten definierades i vår studie som grundtyevägd medeldiameter i uttaget genom grundtyevägd medeldiameter efter gallring. Den grundtyevägd medeldiameter i uttaget erhålls med hög precision utifrån skördarnas diametermätning. Den grundtyevägd medeldiameter efter gallring kan *teoretiskt* beräknas genom att man utgår från de tre trädpopulationerna:

- Träd mellan stickvägarna före gallring.
- Träd efter gallring, det vill säga de kvarstående träden mellan stickvägarna.
- Träd som gallrats bort mellan stickvägarna.

De två senare trädpopulationerna utgör delmängder av den förra och relationen mellan medeldiametererna för de tre populationerna kan i ekvationsform uttryckas enligt följande:

$$[\text{Ekv. 1a}] \quad D_{gv_{före_ms}} = D_{gv_{efter}} * (1 - U_{ms}) + (D_{gv_{uttag_ms}} * U_{ms})$$

där $D_{gv_{före_ms}}$ är grundtyevägd medeldiameter före gallring för träden mellan stickvägarna, $D_{gv_{efter}}$ är grundtyevägd medeldiameter efter gallring, $D_{gv_{uttag_ms}}$ är grundtyevägd medeldiameter för gallringsuttaget mellan stickvägarna och U_{ms} är uttagsandelen mellan stickvägarna, uttryckt som andelen av den totala grundytan före gallring som avverkats mellan stickvägarna. Den sökta grundtyevägd medeldiameter efter gallring kan alltså beräknas som:

$$[\text{Ekv. 1b}] \quad D_{gv_{efter}} = \frac{(D_{gv_{före_ms}} - D_{gv_{uttag_ms}} * U_{ms})}{(1 - U_{ms})}$$

I ett automatiserat system för gallringsuppföljning finns inte direkt information tillgänglig om målvariablerna i Ekv. 1b. I stället måste indirekta variabler användas och kopplingen mellan målvariablerna och de indirekta variabler som

användes i vår studie för beräkning av grundtevägd medeldiameter efter gallring i förstagallringar finns beskriven i Tabell 2 för förklaring av de indirekta variablerna se Tabell 3. Centralt för samtliga indirekta variabler är att stickvägs-träden kan identifieras utifrån kranvinkeldata.

Vår studie är avgränsad till en utvärdering av sambanden mellan de teoretiska målvariablerna och de indirekta variablerna det vill säga nyckelkomponenterna för beräkning av grundtevägd medeldiameter efter gallring och därmed gallringskvot. I en separat rapport redovisas resultat från jämförelser mellan referensmätt och beräknad grundtevägd medeldiameter efter gallring samt mellan referensmätt och beräknad gallringskvot (Hannrup m.fl., 2015).

Tabell 2.

De målvariabler som används vid en teoretisk beräkning av grundtevägd medeldiameter efter gallring samt motsvarande indirekta variabler som utnyttjades i studien.

Målvariabel	Indirekt variabel
$D_{gv_{före_ms}}$	$D_{gv_{kvi_15}} * k$
$D_{gv_{uttag_ms}}$	$D_{gv_{kvi_50}}$
U_{ms}	$(1 - \frac{GU_{kvi_30}}{GU_{tot}}) * \frac{GU_{tot}}{G_{tot_före}}$

Tabell 3.

Förklaring av de indirekta variabler som användes i studien för beräkning av grundtevägd medeldiameter efter gallring.

Indirekt variabel ¹⁾	Förklaring
$D_{gv_{kvi_15}}$	Grundtevägd medeldiameter för träd avverkade inom kranvinkelintervallet +/- 15 grader (mm).
k	Korrektionsfaktor som kompenserar för selektiviteten vid stickvägsutläggningen. Korrektionsfaktorn är empiriskt framtagen.
$D_{gv_{kvi_50}}$	Grundtevägd medeldiameter för träd avverkade utanför kranvinkelintervallet +/- 50 grader (mm).
GU_{kvi_30}	Grundteuttag i stickväg (m ²) utifrån identifiering av stickvägsträd med hjälp av kranvinkelintervallet 30 grader.
GU_{tot}	Totalt grundteuttag (m ²)
$G_{tot_före}$	Total grundteyta före gallring (m ²)
$\frac{GU_{tot}}{G_{tot_före}}$	Denna kvot är liktydig med den totala gallringsstyrkan och denna erhöles i vår studie från beräkningsprogrammet.

Beräkning av gallringskvot i senare gallringar

I den metodik som används för beräkning av gallringskvot i förstagallringar är det centralt att en stor del av gallringsuttaget, sker i stickvägarna och att dessa träd kan ge en representativ bild av objektet före gallring. För senare gallringar är stickvägsuttaget i normalfallet väsentligt lägre. De träd som tas ut i stickvägarna kan inte förväntas ge samma representativa bild av objektet före gallring. Detta resonemang indikerar att för objekt med låg andel av gallringsuttaget i stickväg, bör gallringskvoten beräknas med annan metodik än för objekt med hög andel av gallringsuttaget i stickväg. Detta utgjorde en utgångspunkt för beräkning av gallringskvot i senare gallringar i vår studie.

Beräkning av gallringskvot för senare gallringar (2:a, 3:e gallringar o.s.v.) skedde i två steg. I ett första steg beräknades den volymsmässiga andelen av det totala gallringsuttaget som skedde i stickvägar. Som gränsvärde användes en uttagsandel i stickväg på 25 procent. För objekt där uttaget i stickvägarna var högre eller lika med 25 procent beräknades gallringskvoten enligt den ovan beskrivna metodiken för förstagallringar. För objekt där uttaget i stickvägarna var lägre än 25 procent beräknades gallringskvoten enligt följande:

$$[\text{Ekv. 2a}] \quad GK = GU_{sväg} * 0,85 + (1 - GU_{sväg}) * 0,72$$

där $GU_{sväg}$ är den volymsmässiga andelen av det totala gallringsuttaget som görs i stickvägarna.

I ett automatiserat system för gallringsuppföljning finns inte direkt information tillgänglig om andelen av det totala gallringsuttaget som görs i stickvägarna. I vår studie beräknades därför denna variabel som:

$$[\text{Ekv. 2b}] \quad GU_{sväg} = Vol_{kvi_30} / Vol_{uttag_tot}$$

där Vol_{kvi_30} är volymsuttaget i stickväg (m^3) utifrån identifiering av stickvägs-träd med hjälp av kranvinkelintervallet +/- 30 grader och Vol_{uttag_tot} är volymen för det totala gallringsuttaget. I resultatdelen redovisas en jämförelse mellan detta indirekta sätt att beräkna andelen av det totala gallringsuttaget som görs i stickvägarna och en beräkning utifrån manuell identifiering av stickvägs-träden.

Ekvation 2a är uppbyggd av två delar där antagna gallringskvoter för uttaget i, respektive utanför, stickvägarna vägs samman. $GU_{sväg}$ representerar uttaget i stickvägarna och för denna del antogs en gallringskvot på 0,85. Detta värde valdes utifrån den genomsnittliga relationen mellan grundtevägd diameter i uttaget och grundtevägd diameter före gallring för de senare gallringarna i vår studie. Uttrycket $1 - GU_{sväg}$ representerar gallringsuttaget mellan stickvägarna där en gallringskvot på 0,72 antogs. Värdet 0,72 valdes utifrån den genomsnittliga gallringskvoten mellan stickvägar för de senare gallringarna i vår studie.

Gallringskvoten beror enligt detta beräkningssätt på andelen av det totala gallringsuttaget som görs i stickväg. Eftersom denna andel kan variera mellan 0 och 0,25 innebär det att den beräknade gallringskvoten kan variera mellan 0,72 och 0,76. Detta intervall sammanfaller med tyngdpunkten för de gallringskvoter som är uppmätta i företagsvisa gallringsuppföljningar (B. Hannrup, Skogforsk, opublicerad sammanställning).

DATAINSAMLING OCH MASKINER

I studien samlades data från totalt 59 provytor utlagda i gallringsobjekt belägna från södra Småland till Norrbotten, se Hannrup m.fl. (2015) för en detaljerad materialbeskrivning. Provyteutläggning skedde före gallringsingreppen. Yttergränserna på provytorerna markerades med snitselband. I en del fall utnyttjades naturliga avgränsningar (väg, hyggeskant o.dyl.) som gränsmarkering. Provytorerna hade ingen fix storlek utan storleken anpassades efter de naturliga förutsättningarna på det aktuella gallringsobjektet. I genomsnitt var provytestorleken 0,93 hektar med en variation från 0,29 till 1,4 hektar.

Från provytorerna inhämtades följande data:

1. Produktionsfiler (hpr-filer) från skördare då de utförde gallringsingreppen. För samtliga 59 provytor innehöll filerna trädvisa koordinater för skördarnas uppställningsplatser vid fällning av stammarna. För 26 av provytorerna innehöll filerna även information om kranvinkel samt maskinriktning vid fällning av stammarna. På 15 provytor gjordes skördarförarna en manuell registrering av stickvägsträden. Detta gjordes med hjälp av tidigare utvecklad metodik för trädvis registrering av grotanpassning (Möller m.fl., 2009).
2. Manuella referensmätningar, vilka utfördes efter gallring. För bestämning av provytorernas areal registrerades koordinaterna för provytorernas yttergränser med handburen GPS-mottagare. För delområden inom provyta registrerades på motsvarande sätt koordinaterna för delområdenas yttergränser. Provyteareal bestämd utifrån denna GPS-information betraktades i studien som ”facit”.

För de 26 provytorerna med kranvinkelregistrering skedde datainsamling med hjälp av 8 gallringsskördare, 4 John Deere och 4 Komatsu (Tabell 4).

Tabell 4.

Skördare som använts för registrering av kranvinkeldata respektive stickvägsträd vid avverkning på provytorerna.

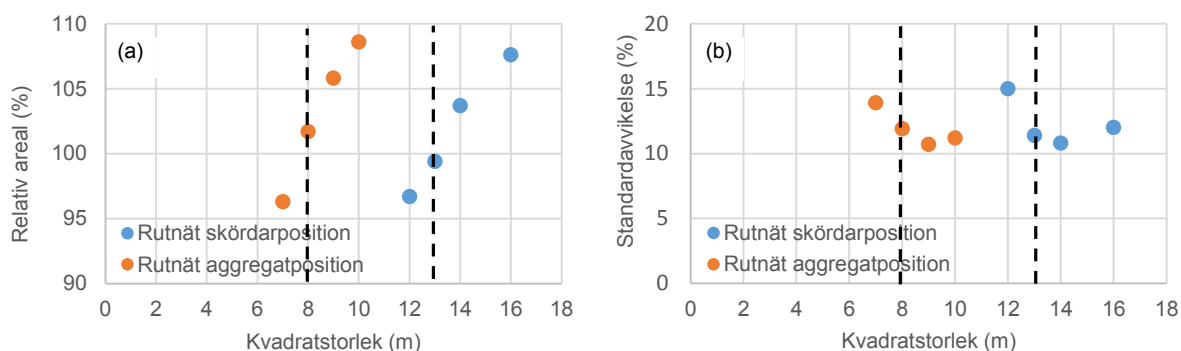
Skördare	Område	Antal objekt, kranvinkel	Medelareal (ha)	Antal objekt, stickvägsträd
John Deere 1	Uppland	4	1,03	4
John Deere 2	Norrbotten	4	1,05	
John Deere 3	Småland	4	0,68	3
John Deere 4	Ångermanland	2	0,66	
Komatsu 1	Småland	4	0,94	2
Komatsu 2	Uppland	4	1,21	3
Komatsu 3	Hälsingland	2	1,17	2
Komatsu 4	Västerbotten	2	1,25	
Totalt:		26	0,99	14

Resultat och Diskussion

AREALBERÄKNING

Inverkan av kvadratstorlek för de rutnätsbaserade metoderna

I Figur 9a redovisas hur varierande kvadratstorlek påverkade den systematiska avvikelsen för areal skattad från de två rutnätsbaserade metoderna för de 26 provytor där kranvinkelinformation fanns tillgänglig. Den systematiska avvikelsen var uttryckt som relativ areal, det vill säga areal skattad från de rutnätsbaserade metoderna i relation till areal från den manuella referensmätningen med handburen GPS-mottagare. För båda de rutnätsbaserade metoderna fanns en tydlig trend att den relativa arealen ökade med ökande kvadratstorlek. Vår tolkning är att denna trend är starkt knuten till ytterkanterna av objektet som ska arealbestämmas; ökande kvadratstorlek, över ett visst gränsvärde, medför att en allt större areal utanför det egentliga objektet kommer att inkluderas vilket leder till systematiska överskattningar av arealen. Lägst systematisk avvikelse för de rutnätsbaserade metoderna noterades för kvadratstorlekarna 8×8 meter (aggregatposition) och 13×13 meter (skördarposition).



Figur 9.

Samband mellan kvadratstorlek (längd på kvadratsida) och relativ areal för de två rutnätsbaserade metoderna för arealbestämning (9a) samt mellan kvadratstorlek och standardavvikelsen för avvikelsen mellan areal från manuell referensmätning och areal från de rutnätsbaserade metoderna (9b). Med relativ areal avses skattad areal från de rutnätsbaserade metoderna i relation till areal från manuell referensmätning. Streckade vertikala linjer indikerar de kvadratstorlekar som användes i den fortsatta utvärderingen för de två metoderna.

Den tillfälliga avvikelsen för de två rutnätsbaserade metoderna för arealbestämning, uttryckt som standardavvikelsen för avvikelsen mellan areal från manuell referensmätning och areal från rutnätsbaserad metod, redovisas i Figur 9b. För båda de rutnätsbaserade metoderna tenderade standardavvikelsen att minska med ökande kvadratstorlek för att sedan stabiliseras runt 11 procent.

Flera av de nyckeltal som skattas i ett automatiserat system för gallringsuppföljning är arealbaserade t.ex. grundyta per hektar eller stamantal per hektar. Arealskattningen är därför mycket central och kommer att ge en direkt påverkan på de arealbaserade nyckeltal som skattas. Det är speciellt angeläget att metodiken som används så långt som möjligt är fri från systematiska avvikelser för att undvika att de nyckeltal som återförs till beståndsregister är behäftade med systematiska fel. Vår slutsats utifrån ovanstående resonemang och resultat kring kvadratstorlekens inverkan på skattningarna från de rutnätsbaserade metoderna är att kvadratstorlekarna 8 och 13 meter är de lämpligaste för metoderna baserade på aggregatposition, respektive skördarposition. Dessa

kvadratstorlekar ger de lägsta systematiska avvikelserna och de ligger också nära de kvadratstorlekar som har de lägsta tillfälliga avvikelserna. Kvadratstorlekarna 8 och 13 meter har därför använts genomgående i de fortsatta analyserna av de rutnätsbaserade metoderna.

Jämförelse av metoderna för arealbestämning

Utifrån data från de 26 provytorna med kranvinkelregistrering visade de nyutvecklade rutnätsbaserade metoderna något högre spridning än den tidigare utvecklade metoden för arealbestämning (Tabell 5). Spridningen, uttryckt som standardavvikelsen för avvikelsen mellan areal från manuell referensmätning och skattad areal, var 9,9 procent för den tidigare utvecklade metoden medan den var 1,5 till 2,2 procentenheter högre för de rutnätsbaserade metoderna (Tabell 5). Närmare granskning av avvikelserna från de tre metoderna för arealbestämning visade ingen påtaglig koppling till storleken på provytorna inom det begränsade arealintervall som studerats (Figur 10).

För den systematiska avvikelsen var förhållandet mellan metoderna det omvända där den systematiska avvikelsen för de rutnätsbaserade metoderna var liten eller försumbar medan den var påtaglig för Skördarprognos 2011 och uppgick till 0,07 hektar (7 procent). Förhållandet att Skördarprognos 2011 tenderar att systematiskt överskatta arealen är i linje med resultaten från en tidigare utvärdering (Hannrup m. fl. 2011). Detaljerade analyser i den studien tydliggjorde att problematiken med överskattning framförallt förekom för små objekt och för sådana objekt där ytterkanten utgjordes av t.ex. väg eller hyggeskant, det vill säga objekt där skördaren huvudsakligen avverkat inåt i objektet.

Förhållandet mellan de systematiska avvikelserna för den rutnätsbaserade metoden baserat på skördarpositioner och den tidigare utvecklade metoden (Skördarprognos 2011) var likartat då metoderna applicerades på samtliga 59 provytor, det vill säga då även provytor utan kranvinkelinformation inkluderades (Tabell 5). Den systematiska avvikelsen var nära noll för den rutnätsbaserade metoden medan den uppgick till 6 procent för den tidigare utvecklade metoden. Metoderna visade även samma förhållande med avseende på de tillfälliga avvikelserna med något högre avvikelser för den rutnätsbaserade metoden.

Sammanfattningsvis indikerar vår studie att det med de rutnätsbaserade metoderna är möjligt att skatta arealen utan systematiska avvikelser för mindre objekt, vilket är ett betydande framsteg i förhållande till den metodik som tidigare utvecklats. Därutöver erbjuder de rutnätsbaserade metoderna beräkningstekniska fördelar i form av snabbhet och lägre behov av minnesutrymme då de används i skördardatorer. Mellan de två rutnätsbaserade metoderna ger metoden baserat på skördarpositioner något bättre skattningar och baserat på detta resultat samt faktumet att kranvinkelinformation ännu inte är allmänt tillgängligt i skördarnas produktionsfiler *rekommenderar vi i nuläget att metoden baserat på skördarposition används i system för automatiserad gallringsuppföljning.*

Metoden baserat på aggregatposition kan förmodligen utvecklas vidare och skulle då potentiellt kunna erbjuda högre precision i arealskattningarna för mindre objekt. Speciellt gäller det objekt där skördaren kör delvis på en väg utanför objektet och avverkar in i ett annat objekt. En förutsättning för att detta ska kunna realiseras är dock att indata förbättras så att aggregatpositionen kan bestämmas med en högre säkerhet än som är fallet i nuläget.

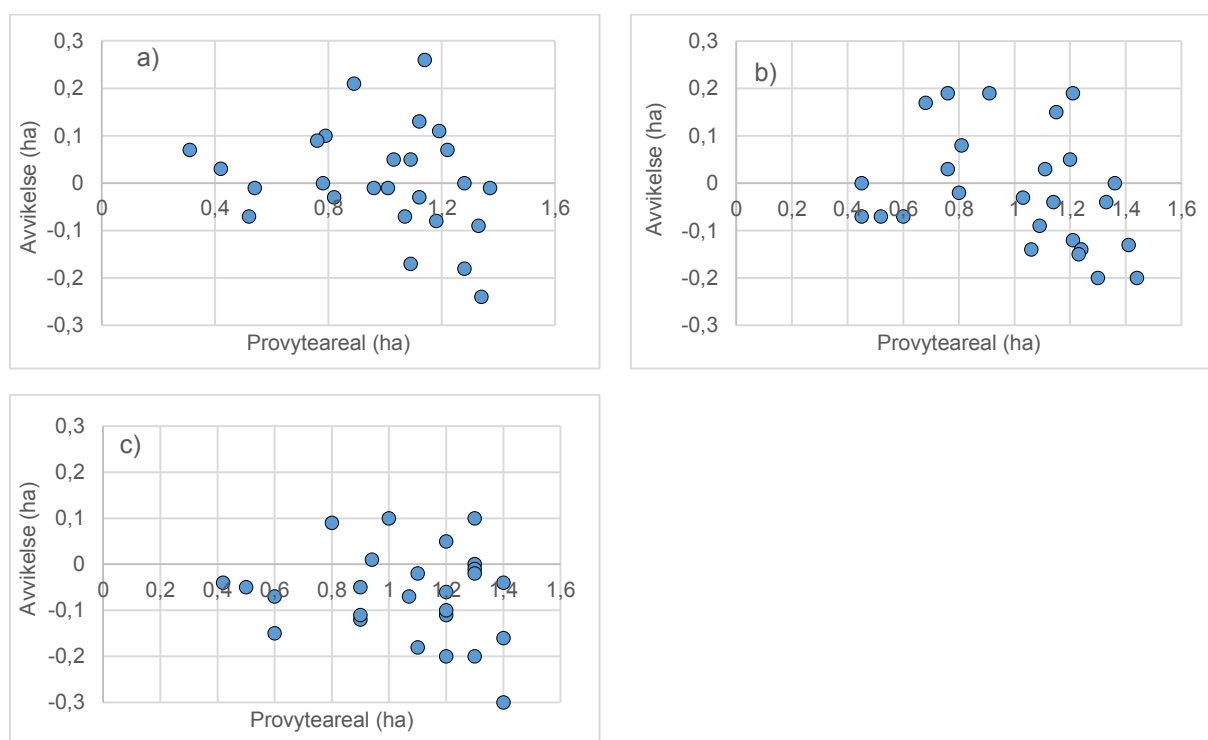
Tabell 5.

Antal provytor, spridningsmått samt standardavvikelsen för avvikelser mellan areal från manuell referensmätning och från de tre utvärderade metoderna för arealbestämning uppdelat på samtliga provytor, respektive provytor med information om kranvinkel.

	N (Antal)	Medel (ha)	Min (ha)	Max (ha)	Standardavvikelse	
					(ha)	(%)
Alla provytor						
Referensmätning.	59	0,94	0,29	1,40		
Rutnät skördarposition ¹⁾ .	59	0,93	0,29	1,55	0,11	11,6
Skördarprognos 2011 ²⁾ .	59	0,99	0,40	1,60	0,10	10,6
Provytor med kranvinkelinfo						
Referensmätning.	26	0,99	0,38	1,40		
Rutnät skördarposition ¹⁾ .	26	0,99	0,31	1,37	0,11	11,4
Rutnät aggregatposition ²⁾ .	26	1,01	0,45	1,44	0,12	12,1
Skördarprognos 2011.	26	1,06	0,42	1,40	0,10	9,9

¹⁾ Kvadratstorleken 13 × 13 meter användes.

²⁾ Kvadratstorleken 8 × 8 meter användes.



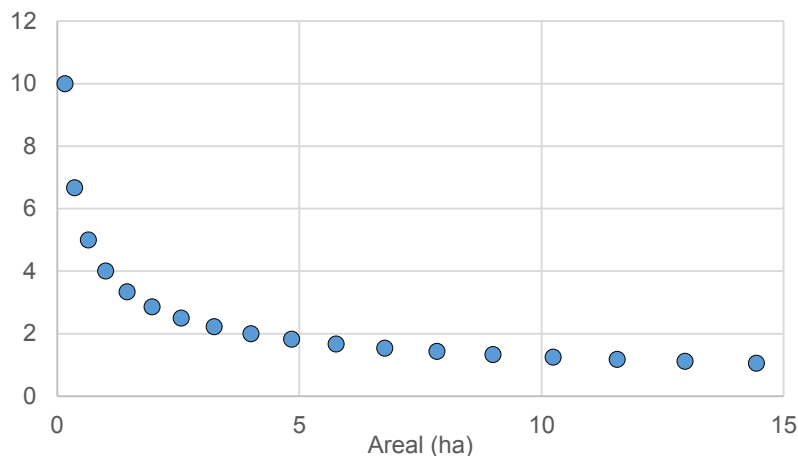
Figur 10.

Avvikelser (areal från manuell referensmätning minus skattad areal) plottade mot storlek på provytorna för **a)** areal från rutnätsbaserad metod med skördarposition, **b)** areal från rutnätsbaserad metod med aggregatposition samt **c)** areal från tidigare utvecklad metod (Skördarprognos 2011).

Vilken precision i arealbestämningen kan man förvänta sig att få då den rutnätsbaserade metoden baserat på skördarposition används i praktisk drift?

Vår studie kan inte direkt besvara denna fråga eftersom den inte innehåller data för objekt med större areal. De tillfälliga avvikelserna från skattningarna av areal skapas till stor del av olika former av kanteffekter uppkomna i objektens ytterkanter (se Hannrup m. fl 2011 för en detaljerad analys). Storleken på de tillfälliga avvikelserna kommer därför att vara beroende av det enskilda objektets kantlängd (omkrets) i förhållande till objektsarealen. Eftersom denna kvot av geometriska skäl minskar med ökande objektstorlek (Figur 11) kan även de tillfälliga avvikelserna förväntas minska med ökande objektstorlek. Detta stöds av data från den tidigare utvärderingen (Hannrup m. fl. 2011; Figur 9) där de tillfälliga avvikelserna för gruppen av mindre objekt (medelvärde 1,2 hektar) igenomsnitt var 13 procent medan den var 3,4 procent för gruppen av större objekt.

Relativ kantlängd (m/m²)

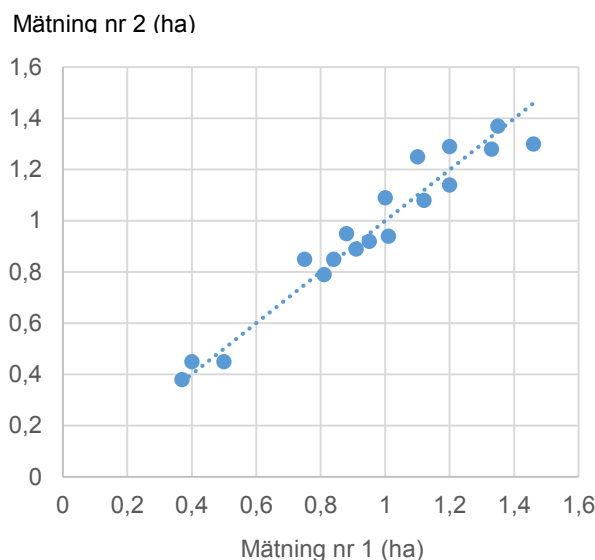


Figur 11.

Illustration av hur kantlängden (omkretsen) i förhållande till arean minskar med ökande areal.

I vår studie betraktades areal från de manuella referensmätningarna som facit. Att utnyttja koordinater från en handburen GPS-mottagare kan te sig som en mycket exakt bestämningsmetod. En problematik som dock tydliggjordes under studien var att det inte på ett enhetligt sätt gick att avgränsa provytorna när man gick i provytornas ytterkant. I skogsbruket saknas definitioner för beståndsavgränsning och i försöksinstruktionerna fanns ingen exakt specificering av hur beståndsavgränsningen skulle ske. Går man t. ex. vid avgränsningen av en provyta mitt i en stickväg respektive i dess kant medför det en arealskillnad på 5 procent för en provyta på 1,0 hektar. Detta innebär att det i vår studie till viss del finns en problematik med ”fel i facit” som medfört att de tillfälliga avvikelserna för de utvärderade metoderna har överskattats.

I syfte att kvantifiera ”fel i facit”-problematiken gjordes två upprepade mätningar av areal på 18 provytor. I genomsnitt över de 18 provytorna var arealen bestämd vid mätning 1 och mätning 2 mycket lika 0,95 hektar, respektive 0,96 hektar. Dock fanns det en betydande spridning mellan de två mättillfällena (Figur 12) och där standardavvikelsen för avvikelserna mellan Mätning 1 och 2 uppgick till 7,9 procent. Används denna skattning för att korrigera den tillfälliga avvikelserna för arealbestämning med den rutnätsbaserade metoden baserad på skördarposition reduceras det tillfälliga felet från 11,6 till 8,5 procent, (se beräkningsunderlag i Bilaga 4).

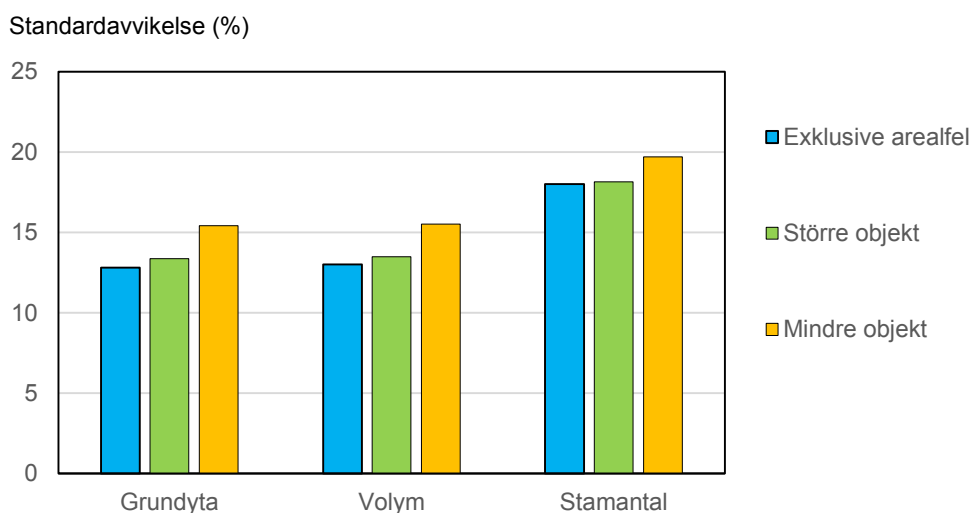


Figur 12. Sambandet mellan två upprepade manuella referensmätningar per provyta för totalt 18 provytor.

Arealbestämning – Sammanfattande diskussion

I ett automatiserat system skattas en rad arealberoende nyckeltal för det kvarvarande beståndet efter gallring och utförliga utvärderingar av precisionen i dessa skattningar har tidigare genomförts (Hannrup m.fl., 2011; 2015). De precisionsmått som redovisas för nyckeltalen i dessa studier var baserade på att arealen från manuell referensmätning och arealen beräknad från skördardata var identisk, det vill säga att det inte förekom några slumpmässiga fel i skördarens bestämning av areal. Men i verkligheten kommer de slumpmässiga felet i bestämningen av de arealberoende nyckeltalen att inkludera de slumpmässiga fel som förekommer i skördarnas bestämning av areal. Med hjälp av de precisionsmått som genererats för arealbestämningen i vår studie kan mer korrekta precisionsmått för arealberoende nyckeltal beräknas.

I Figur 13 redovisas de tillfälliga avvikelserna för nyckeltalen grundyta/hektar, volym/hektar och stamantal/hektar. De tillfälliga avvikelserna redovisas dels i form av ursprungliga skattningar (exklusive arealfel) samt för mindre, respektive större objekt då arealfel inkluderats (se Bilaga 5 för en redovisning av beräkningarna). Resultaten visar att för de mindre objekten (0–2 hektar) ökar standardavvikelsen cirka 2,6 procentenheter för grundyta och volym medan ökningen uppgår till 1,7 procentenheter för stamantal. För de större objekten är ökningen av standardavvikelsen närmast marginell och uppgår till som högst 0,6 procentenheter för de tre studerade nyckeltalen.



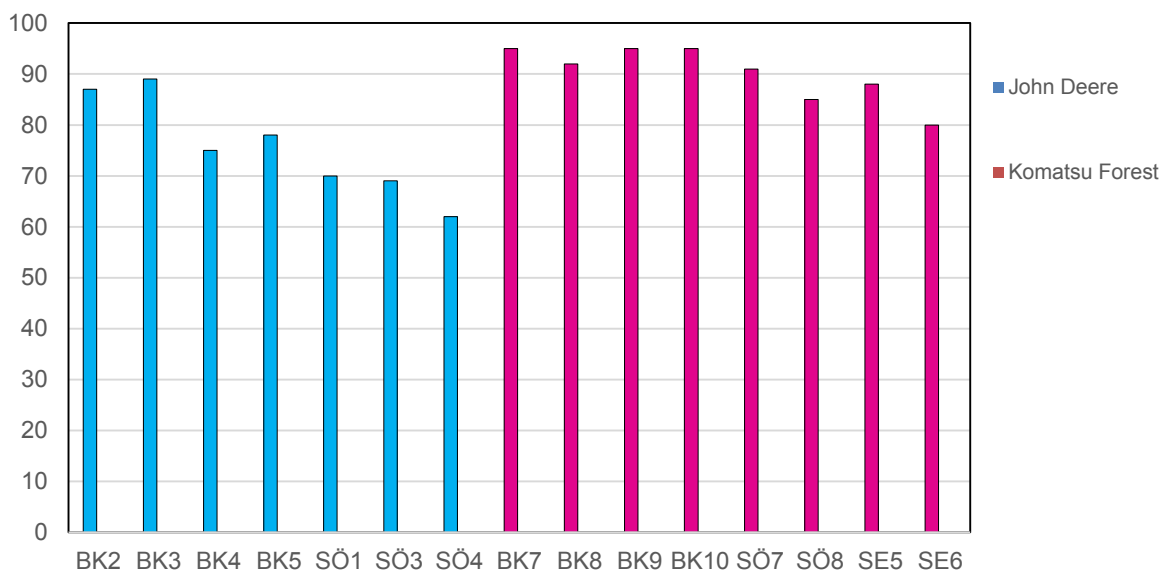
Figur 13.

Standardavvikelsen för arealberoende nyckeltal redovisat exklusive arealfel samt inklusive arealfel uppdelat på mindre (0–2 hektar) och större objekt (> 2 hektar).

STICKVÄGSTRÄD BASERAT PÅ KRANVINKELDATA

I Figur 14 redovisas genomsnittlig andel av de manuellt registrerade stickvägsträden som hade en kranvinkel inom intervallet +/- 30 grader för de 15 första gallringsobjekt som användes i utvärderingen. Andelen stickvägsträd med kranvinkel inom +/- 30 grader varierade mellan 62 procent och 95 procent och i genomsnitt var 83 procent av träden inom detta intervall träd som registrerats som stickvägsträd av förarna. I objekt avverkade med John Deere skördare tenderade andelen av de manuellt registrerade stickvägsträden som hade en kranvinkel inom +/-30 grader att vara lägre än för objekten avverkade med skördare från Komatsu (Figur 14). Vi har inom ramen för studien dock inte kunnat identifiera någon sannolik förklaring till att maskinerna i sig skulle ge upphov till skillnader i frekvensen korrekt identifierade stickvägsträd. Däremot så kan säkert objektets areal påverka resultatet. I exemplet nedan så är de objekt med minst överensstämmelse SÖ 1, SÖ 3 och SÖ 4 alla små objekt på 0,4, 0,5 respektive 0,9 hektar. Detta innebär att kanteffekten blir stor.

Andel inom +/- 30 grader



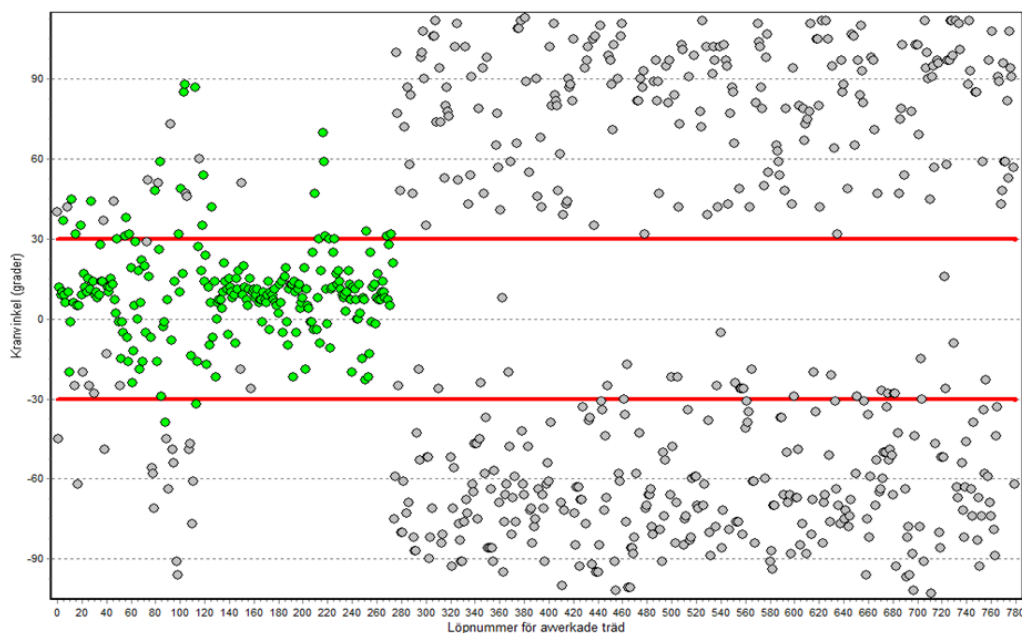
Figur 14.

Genomsnittlig andel av de manuellt registrerade stickvägsträden med en kranvinkel inom +/- 30 grader för 15 förstagallringsobjekt avverkade med skördare från John Deere (blå staplar) respektive Komatsu Forest (röda staplar). BK2, BK3 o.s.v. anger objektsidentiteter se Hannrup m.fl. 2015 för objektsbeskrivningar. Objekten BK9 och BK10 slogs efter denna analys samman och benämndes i den fortsatta resultatredovisningen som objekt BK10.

Precisionen i identifieringen av stickvägsträden vid användande av vinkelintervallet +/- 30 grader illustreras närmare för ett av gallringsobjekten (objekt ”BK2”) i Figur 14. För detta objekt återfanns 250 av de 287 manuellt registrerade stickvägsträden (gröna cirklar) inom kranvinkelintervallet +/- 30 grader. Huvuddelen av stickvägsträden kunde alltså identifieras korrekt med hjälp av kranvinkeldata men Figur 15 visar att det förekom två typer av felaktig klassificering:

1. Manuellt registrerade stickvägsträd som hade en kranvinkel utanför vinkelintervallet, det vill säga skördaren har alltså i högre grad haft kranen riktad ut mot sidorna vid avverkning av dessa träd. Sådana fall kan uppkomma till exempel då stickvägen svänger kraftigt eller då skördaren står på en väg och tar upp en ny stickväg in i beståndet.
2. Träd som inte är stickvägsträd men som hade en kranvinkel inom +/- 30 grader, det vill säga skördaren har gallrat ut träd utanför stickvägen men haft kranen riktad i snäv vinkel längs körriktningen. Sådana fall kan uppkomma t.ex. då skördaren gallrar ut träd som står i kanten av en stickväg eller då skördaren gjort ett ”instick”.

Den andra typen av felklassificering innebär att en högre andel stickvägsträd kommer att registreras utifrån kranvinkeldata i jämförelse med manuell registrering medan det omvända gäller för den första typen av felklassificering. I genomsnitt för de 15 gallringsobjekten registrerades 354 stickvägsträd med hjälp av kranvinkeldata medan 335 träd registrerades manuellt. Överskattningen av antalet stickvägsträd från den automatiska klassificeringen (+6 procent) indikerade alltså att den andra typen av felklassificering var vanligast förekommande.



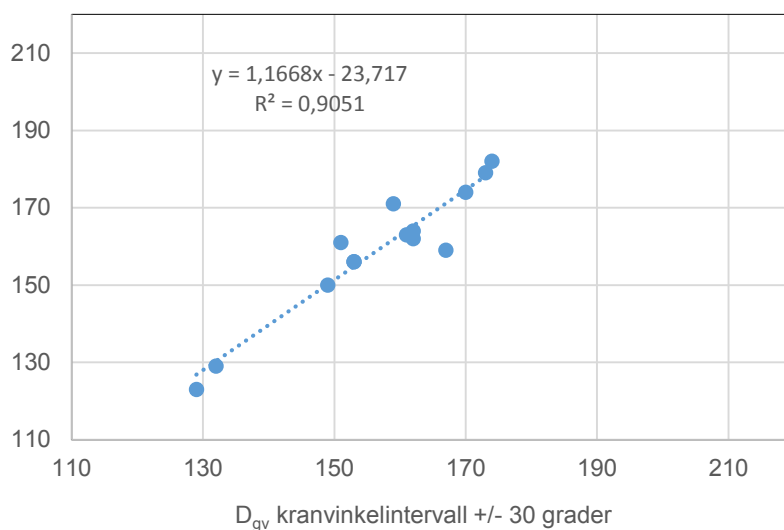
Figur 15.

Alla avverkade träd på ett avverkningsobjekt. För varje träd är kranvinkeln registrerad. De träd som är färgade gröna visar träd som föraren manuellt registrerat som stickvägsträd. Träd mellan de röda linjerna visar träd med kranvinkel inom +/- 30 grader.

Hur återspeglar då medeldiametern för de automatiskt identifierade stickvägsträden medeldiametern för de manuellt registrerade stickvägsträden?

I Figur 16 redovisas sambandet mellan grundtytevåg medeldiameter för de manuellt registrerade stickvägsträden och den grundtytevågda medeldiametern för stickvägsträden identifierade utifrån kranvinkelintervallet 30 grader för de 14 förstagallringsobjekten. I genomsnitt var den grundtytevågda medeldiametern 159 millimeter för de manuellt registrerade stickvägsträden medan motsvarande medelvärde var 157 millimeter för stickvägsträden identifierade utifrån kranvinkelintervallet. Standardavvikelsen för avvikelsen mellan grundtytevågda medeldiameter för manuellt registrerade stickvägsträd och stickvägsträd identifierade utifrån kranvinkelintervallet +/- 30 grader var 5 millimeter, vilket uttryckt i förhållande till medelvärdet uppgår till 3,3 procent.

D_{gv} manuell identifiering av stickvägsträd



Figur 16.

Sambandet mellan grundtyevägd medeldiameter (D_{gv}) för manuellt registrerade stickvägsträd och stickvägsträd identifierade utifrån kranvinkelintervallet +/- 30 grader för 14 förstagallringsobjekt.

Utifrån denna utvärdering drar vi slutsatsen att användande av kranvinkeldata i kombination med ett vinkelintervall om +/- 30 grader är ett effektivt sätt att automatiskt identifiera huvuddelen av stickvägsträden i förstagallringar. Vidare att den grundtyevägd medeldiametern för stickvägsträden kan skattas med hög precision.

GALLRINGSKVOT I FÖRSTAGALLRINGAR

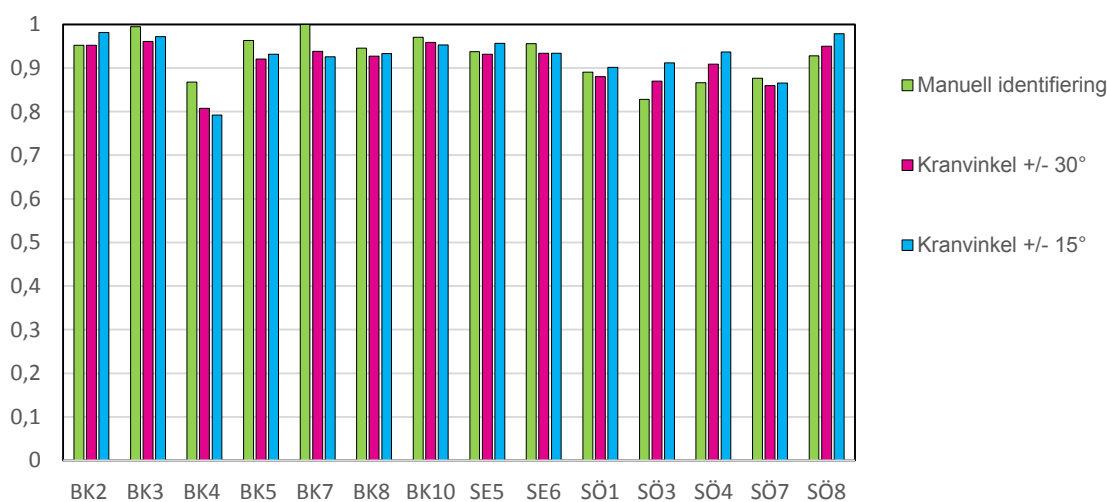
Centralt vid beräkning av gallringskvot är att ett precist mått på den grundtyevägd medeldiametern efter gallring kan genereras. I vår studie har en teoretisk ”sann” modell för beräkning av grundtyevägd medeldiameter efter gallring utvecklats (Ekvation 1b). Direkt information om variablerna i den teoretiskt ”sanna” modellen finns inte tillgängliga i praktiskt skogsbruk. Istället måste indirekta variabler, framtagna utifrån en identifiering av stickvägsträd utifrån kranvinkeldata användas. Den nedan redovisade utvärderingen belyser sambanden mellan variablerna i den ”sanna” modellen och de indirekta variabler som kan användas i ett automatiserat system för gallringsuppföljning (Tabell 2).

Grundtyevägd medeldiameter före gallring

Grundtyevägd medeldiameter före gallring *mellan* stickvägarna ingår som en målvariabel i den ”sanna” modellen. Inledningsvis i utvärderingen gjordes dock en analys av sambanden mellan grundtyevägd medeldiameter före gallring *för hela* objektet och grundtyevägd medeldiameter beräknad från en identifiering av stickvägsträden.

I Figur 17 redovisas relationen mellan grundtyevägd medeldiameter före gallring för hela objektet och grundtyevägd medeldiameter för de manuellt registrerade stickvägsträden respektive stickvägsträden identifierade utifrån kranvinkelintervallen 15 och 30 grader. I genomsnitt för de 14 utvärderade förstagallringarna var den grundtyevägd medeldiametern för de manuellt registrerade stickvägsträden 92,7 procent av den grundtyevägd medeldiametern före gallring. Motsvarande medelvärden för stickvägsträden identifierade med kranvinkelintervallen 30 och 15 grader var 91,4 procent respektive 92,6 procent. Våra resultat indikerar alltså att med hänsyn till diametern kan *inte* stickvägsträden betraktas som ett fullständigt slumpmässigt urval av träden i det ursprungliga beståndet utan utläggningen av stickvägarna sker selektivt och på ett sätt som innebär att träd med klenare diameter i högre grad än grova träd avverkas i stickvägarna.

Relativt D_{gv} före gallring



Figur 17.

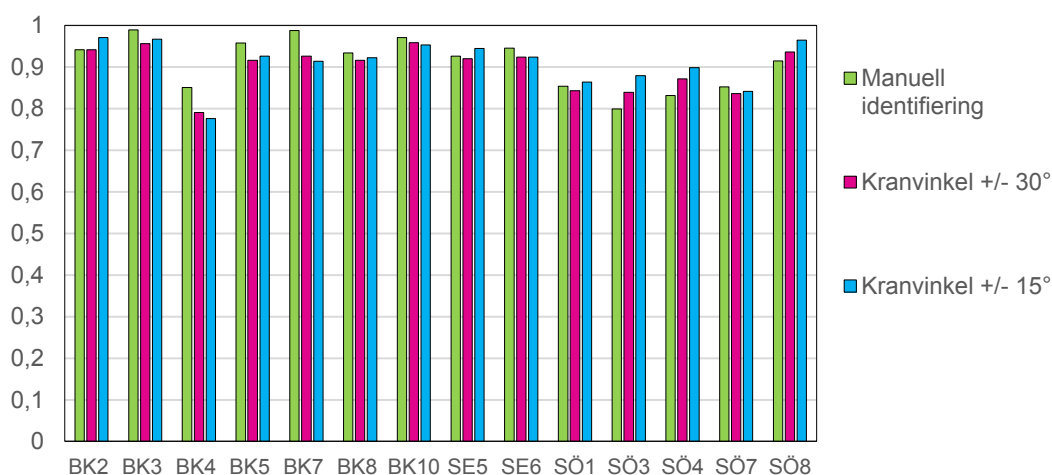
Relation mellan grundtyevägd medeldiameter (D_{gv}) före gallring och D_{gv} för de manuellt registrerade stickvägsträden (gröna staplar) samt D_{gv} för stickvägsträd avgränsade med kranvinkelintervall om +/- 30° (lila staplar) respektive +/- 15° (blå staplar). BK2, BK3 o.s.v. anger objektsidentiteter se Hannrup m.fl 2015 för objektsbeskrivningar.

Selektiviteten vid stickvägsutläggningen var likartad för de fjorton utvärderade förstagallringarna som var avverade av fem olika skördarlag, tillhörande tre olika företag. Till exempel så låg kvoten mellan D_{gv} baserad på identifiering av stickvägsträd med kranvinkelintervallet 30 grader och D_{gv} före gallring inom intervallet 0,86 till 0,96 för tretton av de fjorton objekten. Motsvarande nivå på relationen mellan stickvägsträdens diameter och diametern i det ursprungliga beståndet (0,935) uppmättes i en detaljerad studie av ett förstagallringsbestånd (Stendahl & Dahlin, 2002). Detta indikerar att selektiviteten vid stickvägsutläggningen är systematisk och att en begränsad variation förekommer.

I Figur 18 redovisas relationen mellan den grundtyevägda medeldiametern före gallring mellan stickvägarna och grundtyevägd medeldiameter för de manuellt registrerade stickvägsträden respektive stickvägsträden identifierade med kranvinkelintervallen 15 och 30 grader. Den grundtyevägda medeldiametern före gallring mellan stickvägarna beräknades i vår studie genom att data från totalklavning efter gallring och data över skördarnas totala uttag lades samman med informationen om vilka träd som avverkats i stickvägarna utifrån skördarförarnas manuella registrering.

I genomsnitt var den grundtyevägda medeldiametern för de manuellt registrerade stickvägsträden 91,1 procent av den grundtyevägda medeldiametern före gallring mellan stickvägarna. Motsvarande medelvärden för stickvägsträden identifierade med kranvinkelintervallen 30 och 15 grader var 89,8 respektive 91,0 procent. De något lägre relationerna med grundtyevägd medeldiameter mellan stickvägarna före gallring jämfört med relationerna med grundtyevägd medeldiameter före gallring för hela objektet (Figur 18) orsakades av selektiviteten vid stickvägsutläggningen vilken medförde att grundtyevägd medeldiameter mellan stickvägarna före gallring var något högre än den grundtyevägda medeldiametern för hela objektet före gallring.

Relativt D_{gv} mellan stickvägar före gallring



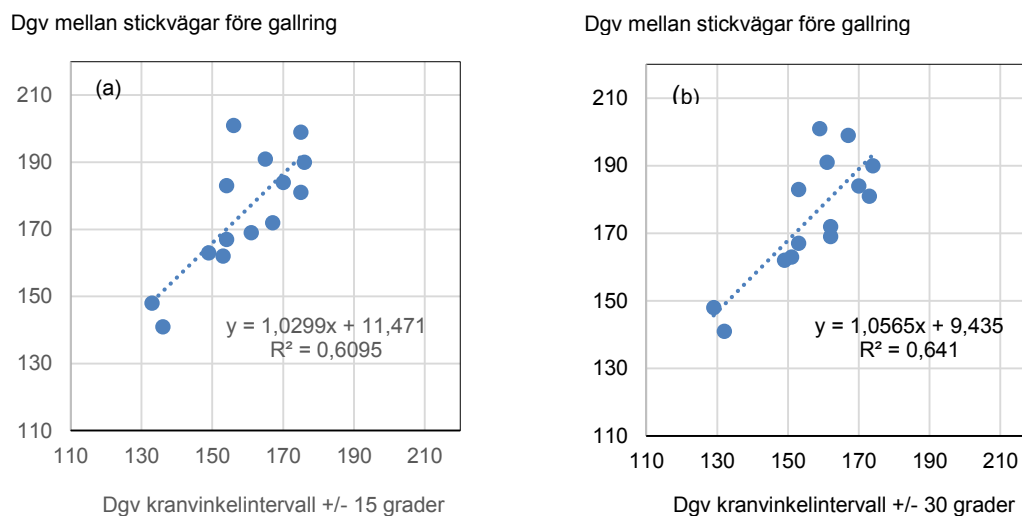
Figur 18.

Relation mellan grundtyevägd medeldiameter (D_{gv}) mellan stickvägar före gallring och D_{gv} för de manuellt registrerade stickvägsträden (gröna staplar) samt D_{gv} för stickvägsträd avgränsade med kranvinkelintervall om +/- 30° (röda staplar) respektive +/- 15° (blå staplar). BK2, BK3 o.s.v. anger objektsidentiteter se Hannrup m.fl 2015 för objektsbeskrivningar.

Med vilken precision kan då medeldiametern före gallring mellan stickvägarna skattas utifrån stickvägsträden identifierade med kranvinkelintervallen +/- 30 och +/- 15 grader?

I Figur 19 redovisas sambanden mellan grundtevägd medeldiameter mellan stickvägar före gallring och grundtevägd medeldiameter för stickvägsträd identifierade med kranvinkelintervallen +/- 15 och +/- 30 grader. Standardavvikelsen för avvikelsen mellan grundtevägd medeldiameter mellan stickvägar före gallring och grundtevägd medeldiameter för stickvägsträd identifierade med kranvinkelintervallen +/- 15 grader och +/- 30 grader var 11,7 respektive 11,2 millimeter. För huvuddelen av objekten i vårt material var alltså den skattade grundtevägda medeldiameter mellan stickvägar före gallring inom +/- 11 millimeter från det "sanna" värdet. Detta motsvarar en procentuell avvikelse i förhållande till medelvärdet på 6,3 procent.

Vilken precision som erhålls för grundtevägd medeldiameter mellan stickvägar före gallring vid praktisk användning av metodiken kan inte fullt ut besvaras av vår studie. Vår bedömning i nuläget är dock att den kommer att vara i närheten av den precision på 6,3 procent som uppmättes i vårt material, bestående av 11 förstagallringsobjekt. Det förhållande som kan ge upphov till större avvikelser för enskilda objekt är då relationen mellan grundtevägd medeldiameter mellan stickvägar före gallring och grundtevägd medeldiameter för stickvägsträden avviker kraftigt från den relation som uppmättes i vår studie. Detta inträffar då stickvägsträden är markant klenare eller grövre än de övriga träden i beståndet. Risken för att sådana fall ska uppkomma ökar förmodligen med minskande areal för bestånden eftersom handlingsfriheten vid stickvägsläggningen är relativt begränsad.



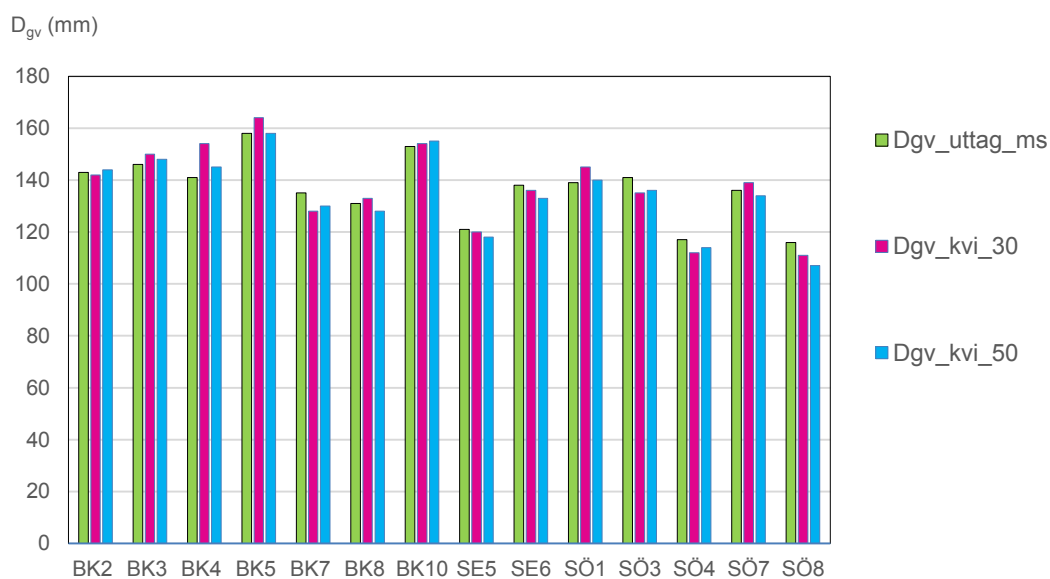
Figur 19.

Sambandet mellan grundtevägd medeldiameter mellan stickvägar före gallring och **a)** grundtevägd medeldiameter för stickvägsträd identifierade med kranvinkelintervallet +/- 15 grader och **b)** grundtevägd medeldiameter för stickvägsträd identifierade med kranvinkelintervallet +/- 30 grader.

Grundtyevägd medeldiameter för uttaget mellan stickvägarna

I vår studie beräknades den ”sanna” grundtyevägd medeldiametern för uttaget mellan stickvägarna genom att vi utgick från data över det totala uttaget och reducerade för de manuellt registrerade stickvägsträden. Indirekt beräknades den grundtyevägd medeldiameter för uttaget mellan stickvägarna utifrån kranvinkelintervallen 30 grader, respektive 50 grader, det vill säga träd med kranvinklar *utanför* dessa intervall ansågs vara uttagna mellan stickvägarna.

I figur 20 jämförs sann och skattad grundtyevägd medeldiameter för uttaget mellan stickvägarna för de fjorton förstagallringsbestånden. Grundtyevägd medeldiameter utifrån kranvinkelintervallen 30 och 50 grader överrensstämde väl med grundtyevägd medeldiameter för uttaget mellan stickvägarna (Figur 20). I genomsnitt var den grundtyevägd medeldiametern för uttaget mellan stickvägarna 136,8 mm medan motsvarande medelvärden utifrån kranvinkelintervallen 30 och 50 grader var 137,4 millimeter, respektive 135,0 millimeter. Den systematiska avvikelsen för de 14 gallringsbestånden uppgick alltså till 0,6 millimeter respektive 1,8 millimeter för grundtyevägd medeldiameter utifrån de två kranvinkelintervallen. Standardavvikelsen för avvikelsen mellan grundtyevägd medeldiameter för uttaget mellan stickvägarna och grundtyevägd medeldiameter utifrån kranvinkelintervallen 30 och 50 grader uppgick till 5,6 respektive 3,6 millimeter, det vill säga standardavvikelsen uppgick till 4,6 respektive 2,6 procent av medelvärdet.



Figur 20.

Grundtyevägd medeldiameter för uttaget mellan stickvägar ($D_{gv_uttag_ms}$) samt grundtyevägd medeldiameter för träd utanför kranvinkelintervallen ± 30 ($D_{gv_kvi_30}$), respektive ± 50 grader ($D_{gv_kvi_50}$). BK2, BK3 o.s.v. anger objektsidentiteter, se Hannrup m.fl 2015 för objektsbeskrivningar.

Utifrån denna utvärdering drar vi slutsatsen att den grundtyvägda medeldiametern i uttaget mellan stickvägarna kan beräknas med mycket hög precision då kranvinkeldata finns tillgängligt. De två kranvinkelintervallen som användes för att identifiera träd som avverkades mellan stickvägarna gav likartade resultat. Kranvinkelintervallet 50 grader gav dock lägst spridning, vilket gör att vi rekommenderar att detta kranvinkelintervall används för skattning av grundtyvägd medeldiameter i uttaget mellan stickvägarna i ett automatiserat system för gallringsuppföljning.

Uttagsandel mellan stickvägarna

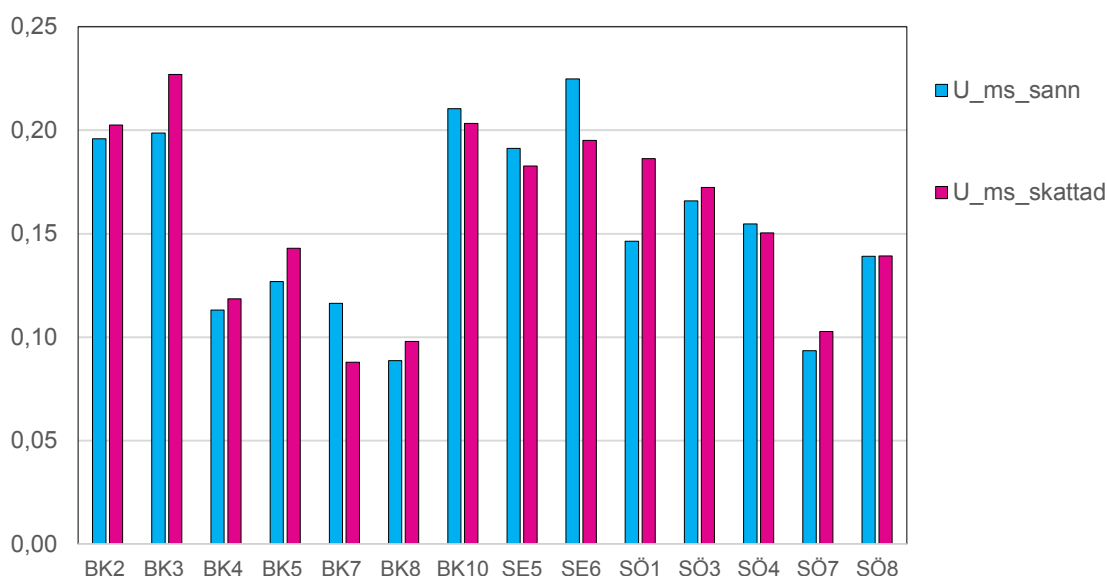
Den ”sanna” uttagsandelen mellan stickvägarna var uttryckt som kvoten mellan grundytan som avverkats mellan stickvägarna och den totala grundytan före gallring. I vår studie beräknades grundtyteuttaget mellan stickvägarna utifrån totalt grundtyteuttag reducerat för grundtyteuttaget för de manuellt registrerade stickvägsträden medan den totala grundytan före gallring beräknades som summan av grundytan efter gallring (från klavning) och totalt uttagen grundyta.

Med hjälp av skördardata gjordes en beräkning av uttagsandelen mellan stickvägarna enligt ekvation i Tabell 2. I denna skattning ingick bland annat en identifiering av stickvägsträden med hjälp av kranvinkelintervallet 30 grader och att den totala uttagsandelen (gallringsstyrkan) skattades enligt tidigare beskriven metodik (Möller m.fl., 2011; Hannrup m.fl., 2011).

I genomsnitt var den ”sanna” uttagsandelen mellan stickvägarna för de 14 förstagallringsbestånden 0,155 (15,5 procent). Den totala uttagsandelen (gallringsstyrkan) för de 14 förstagallringarna uppgick i genomsnitt till 31,1 procent, vilket innebär att i genomsnitt togs 15,6 procent av grundytan före gallring ut i stickvägarna, det vill säga uttaget gjordes genomsnittligt i lika delar i stickvägar och mellan stickvägar. En intressant observation var att uttagsandelen mellan stickvägarna varierade så kraftigt mellan gallringsobjekten från 0,089 till 0,225 (Figur 21). En närmare analys av orsaken till denna variation har inte gjorts inom ramen för vår studie.

Det fanns ingen nämnvärd systematisk avvikelse mellan den skattade och den ”sanna” uttagsandelen mellan stickvägarna. Medelvärden för ”sann” respektive skattad uttagsandel var 0,155 respektive 0,158. Den skattade uttagsandelen följde generellt den ”sanna” väl och förmådde fånga den stora variation som förekom (figur 21). Standardavvikelsen för avvikelsen mellan ”sann” och skattad uttagsandel uppgick till 0,019 det vill säga uttryckt som andel av medelvärdet uppgick standardavvikelsen till 12 procent. Precisionen för skattningen av uttagsandel är därmed i nivå med den precision som noterats för beräkning av total uttagsandel (Hannrup m. fl. 2011).

Uttagsandel mellan stickväg



Figur 21.

"Sann" uttagsandel mellan stickvägarna (U_ms_sann) samt skattad från skördardata (U_ms_skattad). BK2, BK3 o.s.v. anger objektsidentiteter, se Hannrup m.fl., 2015 för objektsbeskrivningar.

GALLRINGSKVOT I SENARE GALLRINGAR

Vid beräkning av gallringskvoten är andelen av det totala gallringsuttaget som görs i stickväg central och olika beräkningsmetodik användes för objekt med volymmässiga andelar över respektive under 25 procent.

I Figur 22 redovisas en jämförelse mellan volymmässig andel av det totala gallringsuttaget som gjordes i stickväg utifrån manuell identifiering av stickvägsträden och motsvarande andel utifrån identifiering av stickvägsträden med hjälp av kranvinkelintervallet +/- 30 grader.

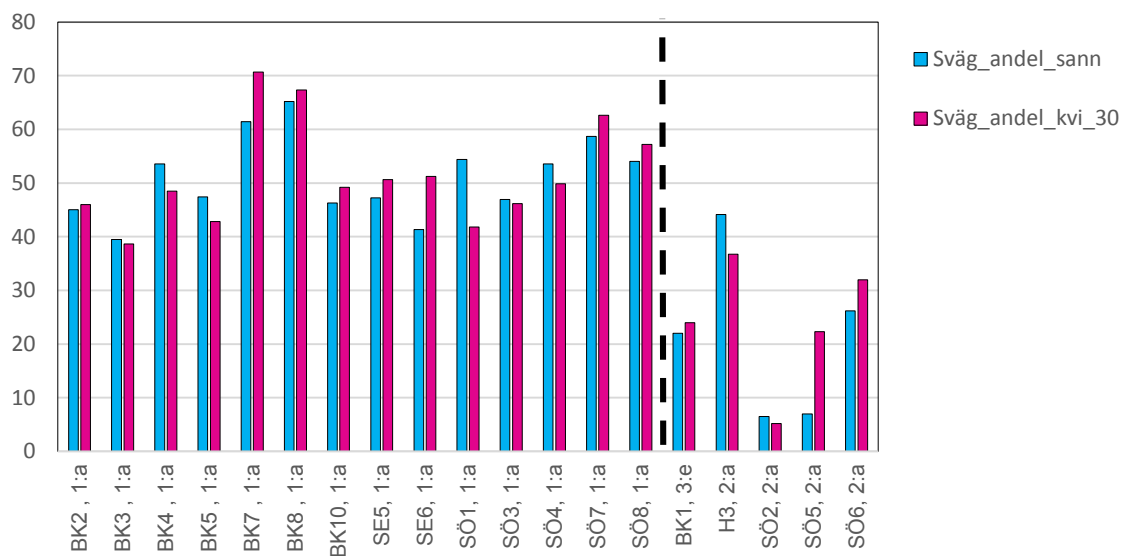
För förstagallringsobjekten (Figur 22, staplar till vänster om streckad linje), utgjordes generellt en hög andel av det totala gallringsuttaget av stickvägsträd och andelen översteg 40 procent för samtliga objekt utom ett. Logiskt var uttagsandelen i stickväg i de senare gallringarna markant lägre. För två av objekten översteg dock denna andel 25 procent.

Uttagsandel i stickväg beräknad utifrån kranvinkelintervallet +/- 30 grader visade för förstagallringsobjekten generellt god överrensstämmelse med motsvarande andel utifrån manuell identifiering av stickvägsträden. I genomsnitt var uttagsandelen i stickväg 51,6 procent då den beräknades utifrån kranvinkelintervallet +/- 30 grader medan den uppgick till 51,0 procent då den beräknades utifrån manuell identifiering av stickvägsträden. För senare gallring var överrensstämmelsen likartad med undantag för ett objekt där avvikelsen var kraftig.

Sammanfattningsvis indikerar våra resultat att:

- Andelen av det totala gallringsuttaget som görs i stickväg kan beräknas med hög precision utifrån kranvinkelintervallet +/- 30 grader.
- Det finns uppenbara, logiska skillnader i uttagsandel i stickväg mellan förstagallringar och senare gallringar.
- Uttagsandelen i stickväg kan vara betydande även för senare gallringar. För sådana objekt finns därmed, på samma sätt som för förstagallringar, tillgång till representativ information om beståndet före gallring, vilket kan utnyttjas vid beräkningen av gallringskvot.

Uttagsandel i stickväg (%)



Figur 22.

Volymsmässig andel av det totala gallringsuttaget som gjorts i stickväg utifrån manuell registrering av stickvägsträd (Svåg_andel_sann) samt utifrån identifiering av stickvägsträden med hjälp av kranvinkelintervallet +/- 30 grader (Svåg_andel_kvi_30). Vertikal streckad linje anger avgränsning mellan förstagallringar och senare gallringar. BK2, BK3 o.s.v. anger objektsidentiteter, se Hannrup m.fl. 2015 för objektsbeskrivningar.

Utvecklingsbehov

Trädpositioner

Det finns önskemål att kranvinkelregistrering blir standard på nya skördarprogramvaror. Förutom kranvinkeln så tror vi också att maskintillverkarna inom de närmsta åren även kommer kunna ange hur långt från maskinen som trädet avverkas. Hur dessa data ska lagras har definierats enligt StanForD 2010 version 3.2. Detta bör också implementeras hos maskintillverkarna.

För att fullt ut kunna tillgodogöra sig positionsdata för enskilda träd så bör GPS-precisionen förbättras. Detta kommer troligtvis ske i och med det nya Europeiska satellitsystemet Galileo och att de ryska Glonass-satelliterna kommer att kunna användas. Även bättre kontroll på maskinens färdriktning är önskvärd.

Arealberäkning

Beräkning av areal kommer kunna förfinas om bestämningen av aggregatpositionen förbättras. En del att jobba vidare med är också hanteringen av enskilda träd som t.ex. avverkas utanför ett objekt. Även hanteringen av objektskanter kan vidareutvecklas.

I sammanhanget så bör man definiera hur arealen för olika objekt ska följas upp, t.ex. går gränsen mitt i en stickväg eller i trädkanten, går en beståndsgräns i väggkanten eller 3 meter in i trädkanten, o.s.v. En ytterligare viktig fråga att definiera är hur icke gallrade delar av ett objekt ska hanteras vid gallringsuppföljning, ska det ingå i arealen eller vara en delareal som inte blivit gallrad?

Stickvägsberäkning

Att bygga in kunskapen om stickvägsträden och utnyttja den informationen vid gallringsuppföljning är viktigt. I gallringsprogrammet som Skogforsk utvecklat, hprGallring, bör de i projektet utvecklade algoritmerna för beräkning av gallringskvot och Dgv byggas in för att tillgängliggöras för det praktiska skogsbruket. Vidare bör funktioner för beräkning av stickvägsandelar liksom att utnyttja stickvägsdata för beräkning av grundyta före gallring vidareutvecklas, testas och, vid goda resultat, byggas in i olika programvaror för det praktiska skogsbruket.

Gallringsstyrning

Med en bra beskrivning av stickvägsträd bör det även vara möjligt att skaffa sig en uppfattning om ett objekt har hög eller låg grundyta före gallring. Även trädslagsblandningen före gallring bör gå att bestämma baserat på stickvägsdata. Detta skapar möjligheter att kunna förfina prognoserna på kvarvarande objekt efter gallring. Speciellt om ett objekt har mycket låg eller hög grundyta före avverkning som ibland har visat sig svåra att prognostisera med bra resultat. Om ett sådant angreppssätt fungerar så kan det innebära att verktyget också kan användas mer för gallringsstyrning i framtiden.

Referenser

- Hannrup, B., Bhuiyan, N. & Möller, J.J. 2011. Utvärdering av ett system för beräkning och återföring av skördarbaserad information till skogliga register och planeringssystem. Arbetsrapport 757, Skogforsk. 39 s.
- Hannrup, B., Bhuiyan, N. & Möller, J.J. 2015. Rikstäckande utvärdering av ett system för automatiserad gallringsuppföljning. Arbetsrapport 857, Skogforsk. 48 s.
- Möller, J.J. Arlinger, J. Barth, A. Bhuiyan, N. & Hannrup, B. 2011. Ett system för beräkning och återföring av skördarbaserad information till skogliga register och planeringssystem. Arbetsrapport 756, Skogforsk. 56 s.
- Möller, J.J., Bhuiyan, N. & Hannrup B. 2015 Utveckling och test av beslutsstöd vid automatiserad gallringsuppföljning. Arbetsrapport 862, Skogforsk. 24 s.
- Möller, J.J., Hannrup, B., Larsson, W., Barth, A. & Arlinger, J. 2009. Ett system för beräkning och geografisk visualisering av avverkade kvantiteter skogsbränsle baserat på skördardata. Arbetsrapport 677, Skogforsk. 19 s.
- Stendahl, J. Dahlin, B. 2002. Possibilities for harvester-based forestry inventory in thinnings. *Scandinavian Journal of Forest Research* (19):548–555.

Bilaga 1.

Specifikation för kommunikation med skördardator

Data att lagras per träd:

- 1) Kompassriktning på maskinens framdel. (lagras i grader, 0 = norr, 90 = Öster, 180 = söder och 270 = väster). **Extension under stem: MachineBearing eller MachineDirection.**
- 2) Vinkel på kranen 0 = framåt på maskinen, 180 = rakt bak på maskinen, d.v.s. 1-179 grader betyder att avverkning sker på högersida och 181–359 grader betyder vänster sida. **Extension under stem: CraneAngle**
- 3) Medelavstånd från maskinens koordinat till trädposition (m), defaultvärde. **Extension under stem: MeanCraneLength.**
- 4) Beräknad koordinat på fällt träd. **Element StemCoordinates (attribute receiverPosition="Crane tip position when felling tree").**
- 5) Maskinens koordinat vid fällning av träd. **Element StemCoordinates (attribute receiverPosition="Base machine position").**
- 6) Noggrannhet på GPS:en. **Extension under stem: GpsPrecision.**
- 7) Tidpunkt för fällning/ koordinatlagring (ej färdigupparbetning). Fällningstidpunkten lagras i elementet **HarvestDate** enligt lokal tid i **datum**, och GPS-tiden lagras i elementet **CoordinateDate.**
- 8) Loggning av körspår (**shape-fil inkl. tider i dbf-fil**).

▲ Extension	
▲ ExtensionContent	
= xmlns:xsi	http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance
= xmlns:xsd	http://www.w3.org/2001/XMLSchema
= xmlns	urn:skogforsk:stanford2010
⊗ MachineBearing	78
⊗ CraneAngle	30
⊗ MeanCraneLen...	9
⊗ GpsPrecision	0.9
⊗ NumberOfSatelli...	8

Figur 1.
Illustration av Komatsu utökning av befintlig stamvis data.

▲ Extension	
▲ FellCutInfo	
▼ FellCutCoordinates	
⊗ MachineDirection	123
⊗ CraneAngle	291
⊗ CraneLength	7
⊗ HDOP	10
⊗ NumberOfSatelli...	1

Figur 2.
Illustration av John Deeres utökning av befintlig stamvis data.

Bilaga 2.

Metod för beräkning av skördarens färdriktning

Den algoritm som har tagits fram för beräkning av skördarens färdriktning styrs i främst genom tillsättningen av två tal:

- 1) Största tillåtna avstånd mellan stammar för att dessa ska kunna anses tillhöra samma grupp.
- 2) Största tillåtna avstånd mellan grupper för riktningstilldelning mellan grupper.

Dessa tal presenteras inte ut mot användaren utan har satts till 10 respektive 20 meter i algoritmen. Avståndet i a) används för att avgöra när en ny grupp behöver inledas och avståndet i b) används för att avgöra om två grupper är tillräckligt nära varandra för att riktning ska beräknas mellan dessa. Om två grupper ligger för långt bort från varandra för att riktning ska kunna beräknas finns det flaggor som styr om den senast tilldelade riktningen kan användas (vilket är tillåtet en gång) eller om färdriktningen sätts till den maskinriktning som följer med trädets produktionsdata.

För varje träd som tas emot av testprogrammet beräknas skördarens aktuella färdriktning enligt nedanstående schema:

- Finns koordinater registrerade?
 - Om ja fortsätt, om nej hoppa över aktuell stam.
- Undersök avstånd till aktuell trädgrupp (tom vid programstart).
 - Om avståndet från aktuellt träd till något träd i gruppen överstiger avståndet i a) sätts en flagga som indikerar att ny grupp ska påbörjas.
- Behöver ny trädgrupp bildas? Om ja:
 - Finns det en tidigare grupp som behöver tilldelas riktning (tom vid programstart)?
 - Beräkna medelkoordinater för aktuell grupp.
 - Utgå från att den senast tilldelade riktningen har använts.
 - Undersök avstånd mellan aktuell grupp och tidigare grupp.
 - Om avståndet mellan aktuell grupps medelkoordinater och varje enskilt träd i tidigare grupp underskrider avståndet i b) tilldelas det aktuella trädet riktningen från sig själv till positionen för medelkoordinaterna och indikatorer för att senast tilldelade riktning har använts suddas ut.

- Om avståndet mellan aktuell grups medelkoordinater och varje enskilt träd i tidigare grupp istället överskrider avståndet i b) och den senast tilldelade riktningen redan har använts av tidigare grupp sätts färdriktningen till den maskinriktning som följer med trädet.
- Om färdriktningen inte har satts i stegen ovan sätts den till den senast tilldelade riktningen.
 - Om flaggan som användes vid utgångsläget inte har suddats ut sätts en flagga som indikerar att den senast tilldelade riktningen har använts av denna grupp.
 - Kopiera aktuell grupp till grupp som ska tilldelas riktning så att denna skrivs över.
 - Töm aktuell grupp.
- Lägg till trädet till aktuell grupp.

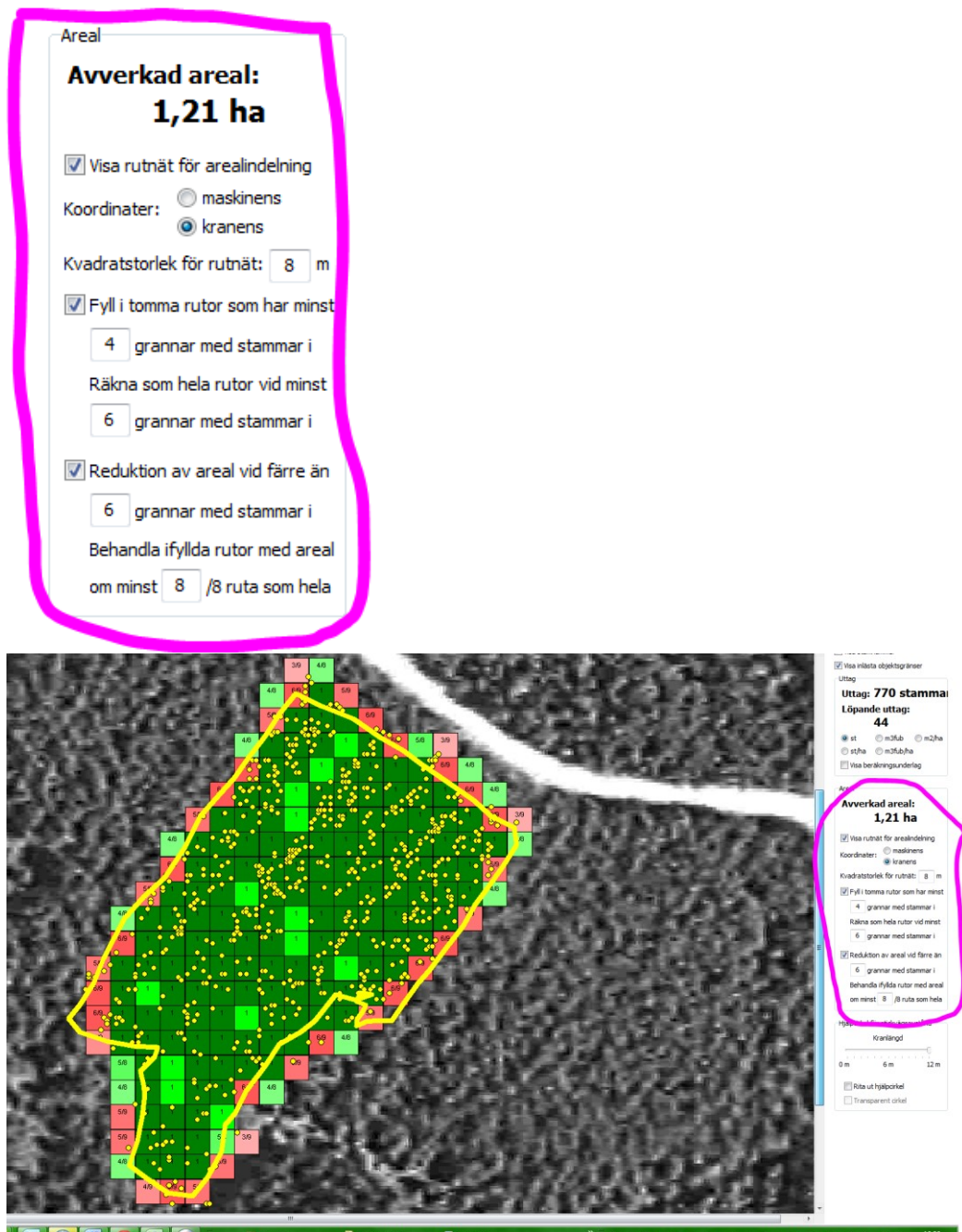
Det finns ytterligare en liten separat procedur som anropas då det är säkert att inte fler träd kommer att tas emot av testprogrammet (t.ex. då programmet läser in ett bestämt antal hpr-filer från disk). Denna procedur beräknar skördarens färdriktning för de träd som inte har tilldelats riktning. Dessa träd kan antingen finnas i den grupp som stod på tur att tilldelas riktning eller den grupp som ovan benämndes aktuell grupp. Proceduren utökar den grupp som ska tilldelas riktning med träden i aktuell grupp och tilldelar sedan varje kvarvarande träd färdriktning från den senast tilldelade riktningen.

Algoritm för arealberäkning

Algoritmen för beräkning av areal arbetar med ett rutnät och är uppdelad i två steg. Varje ruta i rutnätet har kapacitet för att lagra antal avverkade träd, arealbidrag, grundyta och volym tillhörande rutan. I algoritmens första delsteg utökas rutnätet vid behov och i dess andra delsteg beräknas varje rutas arealbidrag eller arealreduktion. Arealberäkningen kan baseras på antingen basmaskinens koordinater kopplade till varje träd eller beräknade koordinater för aggregatet vid avverkningen av varje träd. Det första delsteget behöver anropas då rutnätet sätts upp för första gången, då rutnätet behöver utökas när nya träd avverkas utanför det, om rutstorleken ändras (t.ex. om användaren tillåts ändra det) eller om användaren växlar mellan basmaskinens koordinater och aggregatets koordinater som grund för beräkningen.

Det första delsteget arbetar enligt följande procedur:

- Om ja:
 - Undersök i vilka riktningar ny avverkning har skett genom att jämföra befintliga gränser mot de yttersta koordinaterna för de nyavverkade träden (preparerade från inläsning).
 - Räkna antal rutor som behöver utökas i respektive riktning.
 - Om rutnätet behöver utökas:
 - Utöka rutnät och initialisera nya element tillhörande nytillagda delar.
 - Uppdatera gränser.
 - Flytta tidigare inlagda träd till rätt ruta i den nya geometrin.
 - Räkna upp antal, grundyta och volym för de rutor där nya träd har avverkats.
- Om nej:
 - Räkna antal rutor som behövs i respektive riktning och sätt upp ett rutnät.
 - Initialisera samtliga element.
 - Om rutnätets storlek är skilt från noll:
 - Börja från första stam, identifiera index för sista stam och gå endast igenom stammar som kan bidra geografiskt.
 - Räkna upp antal, grundyta och volym för de rutor där träd har avverkats.



Figur 1.
Förinställda värden för ifyllnad respektive reduktion i användargränssnittet.

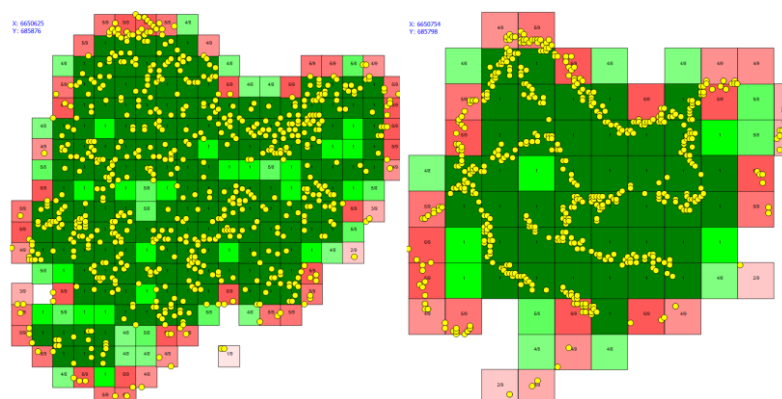
För det andra delsteget finns det ett antal parametrar som kan ställas enligt Figur 1:

- 1) Ifyllnad av tomma rutor där ingen avverkning har skett.
 - a) Gräns för minsta antal grannar med avverkade träd i för att ifyllnad ska ske. **Default minst 4 grannar** (ljusgrön yta enligt ovan med andelar mindre än 1 i).
 - b) Gräns för minsta antal grannar med avverkade träd i för att rutans arealbidrag ska bli hela rutans areal. **Default minst 6 grannar** (ljusgrön yta med siffran 1 i).
- 2) Reduktion av areal för rutor.
 - a) Gräns för högsta antal grannar med avverkade träd i för att reduktion ska ske. **Default vid mindre än 6 grannar** (röd yta med siffran 1 i).
 - b) Gräns för vilken arealandel en ifylld ruta (tom ruta) ska ha för att den ska räknas som en granne som innehåller träd. **Default 8 av 8 grannar**.

Det andra delsteget arbetar enligt följande procedur:

- Nollställ tidigare arealberäkning.
- Gå igenom rutnätet för rutor där inga träd har avverkats.
 - Om tomma rutor ska fyllas i och tom ruta påträffas:
 - Räkna antal grannar som innehåller träd.
 - Om antal grannar överskrider gränsen i 1a):
 - Om antal grannar överskrider gränsen i 1b) sätts arealbidraget till hel ruta.
 - Räkna ut arealbidraget som andel grannar med träd i mot totalt antal möjliga grannar.
- Gå igenom rutnätet för rutor där träd har avverkats.
 - Om rutor ska reduceras och ruta innehållande träd påträffas:
 - Räkna antal grannar som innehåller träd eller som har tilldelats ett arealbidrag som är lika med eller över gränsen i 2b).
 - Om antal grannar överskrider gränsen i 2a):
 - Sätt arealbidraget till hel ruta.
 - Om antalet grannar underskrider gränsen i 2a):
 - Räkna ut arealbidraget som andel grannar med träd i mot totalt antal möjliga grannar.
 - Om rutor inte ska reduceras sätts arealbidraget till hel ruta.

Om kranvinkel registrerats i maskinen så sprids träden ut jämfört med att använda maskinens position för trädet. Om kranvinkeln är 0 så är trädets position detsamma som om man bara hade maskinens position. Kranvinkel +/- 90 grader innebär att positionen blir default avståndet på kranlängden, 8 meter för Komatsu och 7 för John Deere, ut från maskinen. Om man använder en GPS utan mätfel så betyder det att trädpositioner +/- default längd kommer att registreras (7–8 meter). Om stickvägsavståndet är 20 meter så kommer en zon på 5-7 meter inte innehålla några träd. Då GPS har ett mätfel på 5–10 meter så kommer normalt ändå detta område innehålla stammar, se Figur 2 nedan.



Figur 2.

Samma objekt med areal beräkna baserad på maskinens koordinat vid avverkning (höger figur), respektive koordinat beräknad utifrån maskinensposition, kranens vinkel och default längd på kranen (vänster figur). För exemplet med maskinposition så används rutstorleken 13 meter och vid användning av kranvinkeldata rutstorleken 7 meter.

Metodfel vid bestämning av areal

Det slumpmässiga metodfelet för arealbestämning med den rutnätsbaserade metoden baserad på skördarposition ($\sigma_{rutnät_skördarpos}$) skattades från ekvation 3

$$[\text{Ekv. 3}] \quad \sigma_{rutnät_skördarpos} = \sqrt{\sigma_{tot}^2 - \sigma_{man_ref}^2}$$

där σ_{tot} är standardavvikelsen för avvikelsen mellan areal från manuell referensmätning och areal från den rutnätsbaserade metoden baserad på skördarposition d.v.s. utan kompensering för de slumpmässiga fel som förekommer vid den manuella referensmätningen av areal, σ_{man_ref} är standardavvikelsen för de slumpmässiga fel som förekommer vid den manuella referensmätningen av areal. I studien skattades σ_{man_ref} som standardavvikelsen för avvikelsen mellan areal från mätning ett och mätning två för de 18 provytor som mättes två gånger.

Använda numeriska värden redovisas i tabellen nedan.

Varianskomponent	Värde (ha)	Värde (% av medelvärde)
σ_{tot}	0,108 ¹⁾	11,6 ¹⁾
σ_{man_ref}	0,074	7,9
$\sigma_{rutnät_skördarpos}^2$	0,079	8,5

¹⁾ Värden enligt Tabell 5.

Metodfel för nyckeltal som beskriver kvarvarande bestånd

I ett automatiserat system för gallringsuppföljning kommer de slumpmässiga fel som förekommer vid arealbestämningen att påverka skattningarna av de arealberoende nyckeltal som beskriver det kvarvarande beståndet efter gallring. För att skatta påverkan på det tillfälliga felet vid skattning av arealberoende nyckeltal användes följande data och antaganden:

- Medelvärden och standardavvikelser för arealberoende nyckeltal exklusive inverkan av slumpmässiga fel vid skattningen av areal hämtades från tidigare utvärdering av systemet för automatiserad gallringsuppföljning (Hannrup m.fl., 2015).
- Storleken på det slumpmässiga felet vid arealbestämning med skördare för mindre objekt (<2 hektar) antogs vara 8,5 procent baserat på beräkningar i denna studie (Bilaga 4).
- Storleken på det slumpmässiga felet vid arealbestämning med skördare för större objekt (>2 hektar) antogs vara 3,7 procent baserat på tidigare studie av sambandet mellan storleken på det slumpmässiga metodfelet och objektstorleken (Hannrup m.fl., 2011).

Vid beräkningarna av inverkan av de slumpmässiga felen vid arealbestämningen på skattningarna av arealberoende nyckeltal antogs de förra felen ha en direkt inverkan och ekvation 4 användes:

$$\text{Ekv. 4} \quad \sigma_{tot} = \sqrt{\sigma_{nyckeltal}^2 + \sigma_{rutnät_skördarpos}^2}$$

där σ_{tot} är det slumpmässiga felet vid skattningen av arealberoende nyckeltal inklusive inverkan av det slumpmässiga felet vid bestämning av areal, $\sigma_{nyckeltal}$ är det slumpmässiga felet vid skattningen av arealberoende nyckeltal (grundyta, volym m.m.) och $\sigma_{rutnät_skördarpos}$ är det slumpmässiga felet vid bestämning av areal.

Använda numeriska värden redovisas i tabell nedan.

Parameter	Enhet	Medelv.	Std. avv. exklusive arealfel (%)	Std. avv. inklusive arealfel	
				Mindre objekt (<2 ha)	Större objekt (>2 ha)
Grundyta	m ² /ha	17,9	12,8	15,4	13,4
Volym	m ³ /ha	133,4	13,0	15,5	13,5
Stamantal	st/ha	867	18,0	19,7	18,1

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 GROT 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.
- Nr 894 Almqvist, C. & Rosenberg, O. 2016. Bekämpning av grankotterost (*Thekopsora areolata*) med fungicider – Försök utförda 2014 och 2015. – Control of cherry spruce rust infection (*Thekopsora areolata*) by use of fungicides – Trials performed in 2014 and 2015. 10 s.
- Nr 895 Westin, J., Helmersson, A. & Stener, L.-G. 2014. Förädling av lärk i Sverige. – Kunskapsläge och material. Genetic improvement of larch in Sweden – knowledge status and seed materias. 55 s.
- Nr 896 Mohtashami, S., Nordlund, S., Krook, M., Bergkvist, I., Ring, E. & Högbom, L. 2016. Körskador vid slutavverkning – en inventeringsstudie i Mälardalen. 16 s.
- Nr 897 von Hofsten, H. & Eliasson, L. 2016. Skotning av grot och rundved med en kombiskotare eller med två dedikerade skotare. 8 s.
- Nr 898 Rytter, L. & Mc Carthy, R. 2016. – Uthållig produktion av hybridasp efter skörd – Slutrapport 2016 för Energimyndighetens projekt 30346. - Sustainable production of hybrid aspen after harvest – Final Report 2016 from Swedish Energy Agency Project 30346.
- Nr 899 Bhuiyan, N., Möller, J.J., Hannrup, B. & Arlinger, J. 2016. Automatisk gallringsuppföljning. – Arealberäkning samt registrering av kranvinkel för identifiering av stickvägsträd och beräkning av gallringskvot – Automatic follow-up of thinning-stand area estimation and use of crane angle data to identify strip road trees and calculate thinning quotient. 47 s.

SKOGFORSK

– Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut

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

FORSKNING OCH UTVECKLING

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. 899–2016



www.skogforsk.se