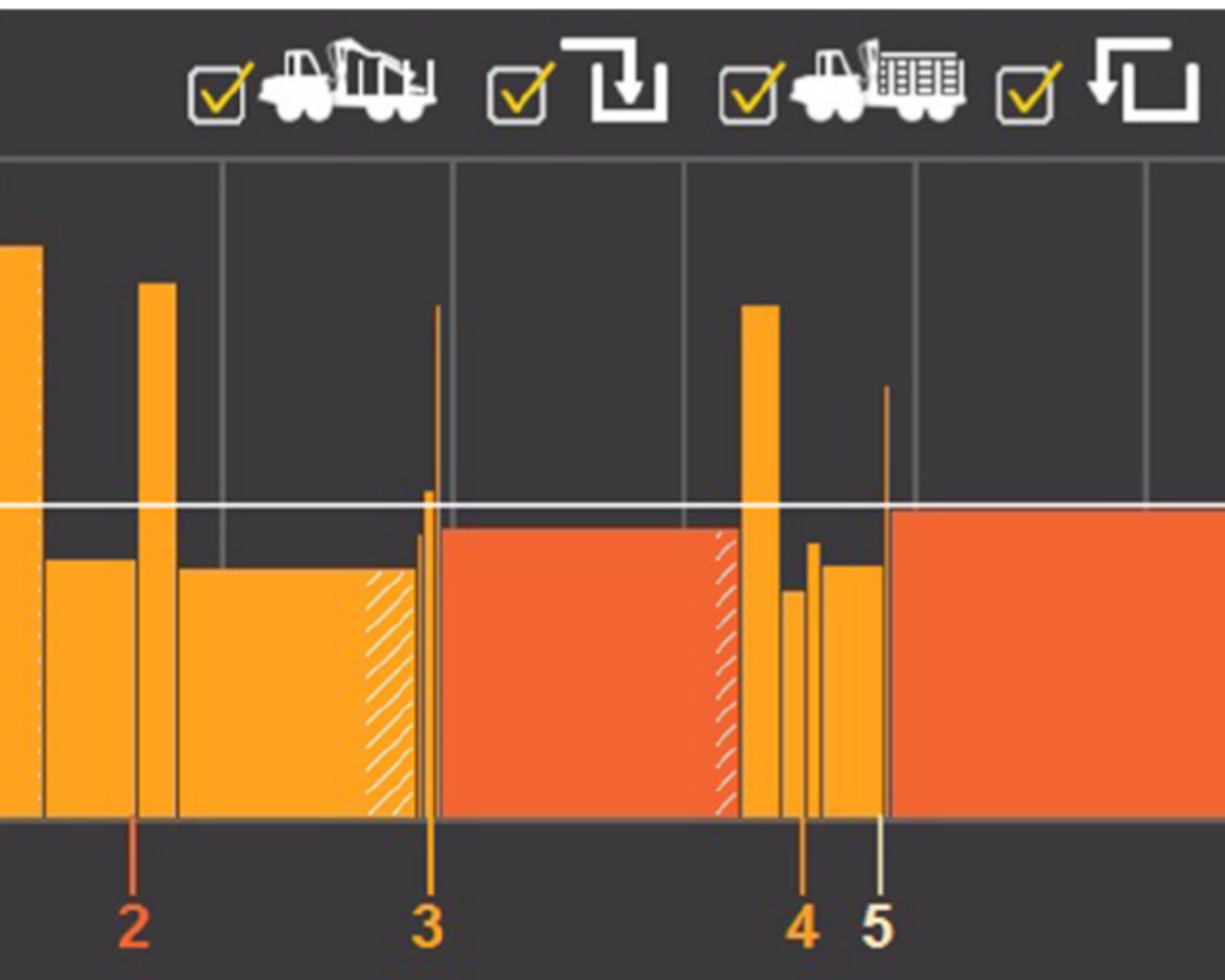


Automatisk datainsamling från skotning

Automatic data collection from forwarders



Summary

Manual time studies of forwarding are time consuming. Thus, data quantities are usually limited to a small number of studied loads. The problem is that the smaller the number, the greater the risk that the data is not representative.

Follow-up studies, on the contrary, enable the collection of data over longer periods, even several years, which improves representativeness. However, a common weakness in follow-up data is the low resolution, which reduces the explanatory value in the material.

Somewhat simplified, it can be argued that, in studies of forwarding carried out to date, a choice must be made between data of high resolution or good representativeness. Method studies require both, thereby generating a growing interest in automated time studies, using onboard computers in forwarders.

Automatic data collection (ADC) enables collection of large quantities of data, usually with a higher resolution than in manual studies. This makes ADC an interesting area for development, both for research and for follow-up of performance and operation.

Forwarder ADC has not come as far as harvester ADC. Despite the good technical potential of forwarder ADC, much development and verification work remain. This work is important if we are to benefit fully from the potential in the technology in the near future. Important areas for further development are:

- Standardization of work element definition in forwarding, to enable analysis of material from different machine manufacturers. Moreover, a common unit of observation should be used, preferably a load.
- To achieve better reliability, monitoring of operator's joystick movements (i.e. CAN-bus data) may be complemented by data from other sources such as satellite systems (GNSS) and crane or load scales.
- Development of methods for combining data from the hpr-files of the harvester computer to, for example, analyze the effect of assortment distribution on the harvesting site on forwarder productivity

Sammanfattning

Manuella tidsstudier av skotning är tidskrävande. Därför är datamängderna oftast begränsade till ett fåtal studerade lass. Problemet är att ju mindre antal studerade lass, desto större risk att materialet inte är representativt.

Driftuppföljningsstudier kan göras över längre tid, till och med under flera år, vilket förbättrar representativiteten. En vanlig svaghet är dock att det data som samlas in har låg upplösning, vilket minskar förklaringsvärdet i materialet.

Med automatisk datainsamling, ADI, är det möjligt att samla in större mängder data och oftast med högre upplösning än i manuella studier. Därför är metoden ett intressant utvecklingsspår både för forskning och för prestations- och driftuppföljningar.

Vid de skotningsstudier som hittills gjorts har man i princip tvingats välja mellan data med hög upplösning och data med god representativitet. För att genomföra bra metodstudier krävs både och. Detta är bakgrunden till ett växande intresse att automatisera tidsstudier med hjälp av onboard-datorer som är integrerade på skotare.

Men trots goda tekniska möjligheter återstår en hel del utvecklings- och verifieringsarbete för skotar-ADI. Arbetet är angeläget för att så snabbt som möjligt tillgodogöra den höga nyttopotential som tekniken medför. Några viktiga utvecklingsområden är:

1. Etablering av en standardiserad definition av arbetsmoment i skotning för att underlätta analys av material från olika maskintillverkare. Dessutom bör en gemensam observationsenhet användas, förslagsvis ett lass.
2. Som tillägg till registrering av förarens spakrörelser via CAN-buss bör testas att kombinera data från flera källor, till exempel satellitsystem (GNSS) och kran- eller lastvåg.
3. Utveckling av metoder för att kombinera data från skotardatorn med data från skördarens hpr-filer för att analysera hur sortimentens geografiska spridning på trakten inverkar på skotningsprestationen.

Innehåll

Summary	2
Sammanfattning	3
Förord	5
Bakgrund	6
Konventionell datainsamling från skotning	6
Från manuell till automatisk datainsamling (ADI)	6
Tekniska lösningar	7
CAN-buss-rådata – grunden för ADI	7
Vågdata som komplement till CAN-buss-rådata	7
GNSS och GIS som komplement till CAN-buss-rådata	7
Klassificeringsalgoritm för bearbetning av CAN-buss-rådata	7
Förarinput som komplement till CAN-buss-rådata	8
Studier enbart baserade på GNSS och GIS	8
Begränsningar med GNSS och GIS	8
Är flera lösningar lösningen?.....	9
Tekniska utmaningar och begränsningar	11
Skotar-ADI halkar efter skördar-ADI	11
Standardiserad ADI – ett gemensamt mål	12
Referenser.....	13

Förord

Studien finansierades av Forest Industrial Research School on Technology (FIRST) och av Skogforsks rammedel.

Uppsala i oktober 2017

Jussi Manner, Rolf Björheden

Bakgrund

KONVENTIONELL DATAINSAMLING FRÅN SKOTNING

Manuella tidsstudier med stoppur och tidsstudieblankett (eller med bärbara datasamlare) är det klassiska sättet att samla in prestationsdata från skotning. Metoden är tidskrävande och därför är datamängderna oftast begränsade till ett fåtal studerade lass (se till exempel Kellogg & Bettinger 1994; McNeel & Rutherford 1994; Gullberg 1995; Tufts 1997; Tiernan m.fl. 2004; Mederski 2006; Nurminen m.fl. 2006; Stankić 2012; Manner m.fl. 2013). Problemet är att ju färre lass som studeras, desto större risk att materialet inte blir representativt.

En risk som tillkommer vid experimentella försök är att försöksbetingelserna avviker från verkligheten på ett sätt som försvårar tolkning och generalisering av resultaten.

Driftuppföljningsstudier, å andra sidan, möjliggör datainsamling över längre tid, till och med under flera år. Det förbättrar representativiteten men minskar ofta förklaringsvärdet i materialet (se t.ex. Holzleitner m.fl. 2011; Eriksson & Lindroos 2014). Uppföljningsdata rapporteras in av operatörerna själva eller hämtas från skogsföretagens informationssystem. Vanliga brister med tekniken är låg upplösning. För skotning till exempel är data inte tillgängliga lassvis, utan observationsenheten är typiskt en trakt.

Tre stora skogsmaskintillverkare, John Deere, Komatsu och Ponsse har på senare tid utvecklat tillverkarspecifika ADI-system som tekniskt har möjlighet att samla in arbetsmomentdata från skotning. För Komatsu finns data endast tillgängliga per givet tidsintervall (så kallad session), medan data för både John Deere och Ponsse även finns tillgängliga för enskilda lass (Manner m.fl. 2016ab; Komatsu 2017; Ponsse 2017; pers. komm, Per Annemalm, Komatsu samt Hanna Vilkmán, Ponsse). Dessa data är tillräckliga för omfattande tidsstudier, men definierar delvis arbetsmomenten på olika sätt. Detta måste man beakta vid jämförelser av driftsdata från olika tillverkare.

FRÅN MANUELL TILL AUTOMATISK DATAINSAMLING (ADI)

ADI har potential att ersätta manuella tidsstudier som huvudsaklig metod. Tekniken möjliggör insamling av stora mängder uppföljningsdata rörande prestation och bränsleförbrukning med det enskilda lasset som en observationsenhet (Manner m.fl. 2016ab). I princip kan skotrararbetet delas upp i ett stort antal arbetsmoment, inklusive korta så kallade mikropauser som inträffar mellan arbetsmomenten. Utöver det kan data från parallella, överlappande arbetsmoment lätt samlas in via ADI. Mänskliga observatörer har svårt att identifiera mikropauser samt korta arbetsmoment (Väätäinen m.fl. 2003; Nuutinen m.fl. 2008). Användning av ADI kan även minska den så kallade observatörs-effekten, som uppstår genom att maskinförare ändrar sitt beteende vid närvaro av observatör (se Mayo 1933; Vöry 1954).

Vid de skotningsstudier som hittills gjorts har man i princip tvingats välja antingen data med hög upplösning eller data med god representativitet. För att genomföra goda metodstudier krävs representativa datainsamlingar och hög upplösning. Detta är bakgrunden till ett växande intresse att automatisera tidsstudier av skotning med hjälp av onboard-datorer på skotare.

Tekniska lösningar

CAN-BUSS-RÅDATA – GRUNDEN FÖR ADI

CAN-buss (CAN = Controller Area Network) möjliggör i princip fullkomlig registrering av använda reglage för kranarbete, styrning och körning (Figur 1). Detta innebär bland annat identifiering av krancykel, övrigt kranarbete, körhastighet, körriktning, överlappande körning och kranarbete. Men arbetsmomenten kan inte identifieras enbart utifrån rådata från CAN-buss – inte ens enstaka lass kan urskiljas (Figur 2). För att kunna urskilja arbetsmomenten måste rådatat antingen bearbetas eller kompletteras med information från andra källor. Nyckeln är att kunna skilja lastning från lossning, det vill säga att kunna hålla isär lastningskrancykler från lossningskrancykler. Detta kan till exempel göras med kranvågsdata. När en grip med last (det vill säga virke) förs in till lastutrymmet och en grip utan last förs ut från lastutrymmet lastas maskinen, medan det för lossning är tvärtom. Alternativt kan man också använda lassvåg.

Vågsdata som komplement till CAN-buss-rådata

Särhållning kan baseras på kranvågsdata. När en grip med last (det vill säga virke) förs in till lastutrymmet och en grip utan last förs ut från lastutrymmet lastas maskinen, medan det för lossning är tvärtom. Alternativt kan man också använda lassvåg.

GNSS och GIS som komplement till CAN-buss-rådata

Ett annat alternativ som kan komplettera CAN-buss är att stödja sig mot Global Navigation Satellite System (GNSS) och Geographic Information System (GIS). Det innebär att när kranen används ute på trakten så lastas maskinen och när den används vid avlägget så lossas maskinen. Därefter kan också övriga arbetsmoment identifieras (Figur 3). Körning efter avslutad lossning definieras som körning utan lass tills kranlastning börjar. Körning som sker i samband med kranlastning definieras som körning under lastning – utom den sista sträckan mellan avslutad kranlastning och påbörjat lossningsarbete, som definieras som körning med lass. Baserat på CAN-buss kan arbetstider vidare definieras efter arbetsmoment, till exempel som G_0 - och G_{15} -tider.

Klassificeringsalgoritm för bearbetning av CAN-buss-rådata

John Deeres system TimberLink separerar lastnings- och lossningskrancykler direkt från varandra. Därefter identifieras övriga arbetsmoment enligt tidigare beskriven princip (Figurer 1–3). En mer detaljerad beskrivning av TimberLinks funktionalitet redovisas av Manner m.fl. (2016b).

Även Ponsse har valt att använda klassificeringsalgoritm i sitt ADI-system, Ecodrive. Algoritmerna skiljer sig dock avsevärt från dem i TimberLink. Varje arbetsmoment i skotningen syns i CAN-buss som systematiskt återkommande styrsignalsier, det vill säga regelbundna kombinationer av styrsignaler. Ecodrive baserar identifikationen av pågående arbetsmoment just på denna regelbundenhet (pers. komm., Hanna Vilkmann, Ponsse). De algoritmer som används i Ecodrive är, precis som för John Deeres TimberLink-algoritmer, konfidentiella. Men metodikens generella grundprinciper kan illustreras med följande förenklade exempel. En lastningsfas består av flera enskilda körsträckor samt korta krananvändningar (det vill säga uppställningsplatser) däremellan. Ibland sker dock körning och krananvändning parallellt. Vid lossningsfas är läget i stort sett motsatt; lossningen omfattar endast en eller få uppställningsplatser och bara lite körning. Körning

utan och med lass kan identifieras (det vill säga placeras) mellan lastnings- och lossningsfaser (jmf. Figur 3).

Förarinput som komplement till CAN-buss-rådata

Till skillnad från John Deere och Ponsse använder Komatsu inte klassificeringsalgoritmer i sitt ADI-system, Forest Machine Health System, FMHS (pers. komm., Per Annemalm, Komatsu). Systemet bygger istället på att föraren med sin ordinarie driftuppföljning anger när lossningen påbörjas och när den avslutas. Detta möjliggör automatisk identifiering av övriga moment enligt ovan beskriven princip (Figur 3).

STUDIER ENBART BASERADE PÅ GNSS OCH GIS

GNSS-GIS-tillämpningar har använts i vetenskapliga skotningsstudier (t.ex. Spinelli m.fl. 2015; Strandgard & Mitchell 2015). Skotarens onboard-dator kan lagra koordinater för geografisk lägesbestämning med valt tidsintervall. Baserat på tidsintervall och ändring av geografiskt läge (distans) kan hastigheten beräknas. Italienarna Spinelli med flera (2015) baserade sin arbetsmomentsfördelning på skotarens hastighet, där ett givet hastighetsintervall ansågs motsvara *transportarbete* (körning med och utan lass) och ett annat givet hastighetsintervall ansågs motsvara *terminalarbete* (lastning och lossning inklusive respektive körning). Australierna Strandgard och Mitchell (2015) delade upp skotningen i fem arbetsmoment: körning utan lass, lastning, körning med lass, lossning, och pauser (tomgång). De definierade avlägget som en geografisk polygon baserat på visst antal hörnkoordinater. När skotaren befann sig inom avlägget och hastigheten understeg ett givet tröskelvärde klassificerades arbetet som lossning. När skotaren befann sig utanför avlägget och hastigheten understeg givet tröskelvärde klassificerades arbetet som lastning. Om hastigheten översteg tröskelvärdet klassades arbetet som körning utan eller med lass beroende på föregående arbetsmoment (lastning eller lossning, jämför figur 3). Strandgard och Mitchell (2015) kompletterade GPS-data med data från elektroniskt skakur för att dokumentera tomgång (det vill säga korta pauser). Denna typiska metodik att avgränsa ett område och koppla rörelser och förflyttningar till ett givet område kallas *geofence* och används inom många branscher.

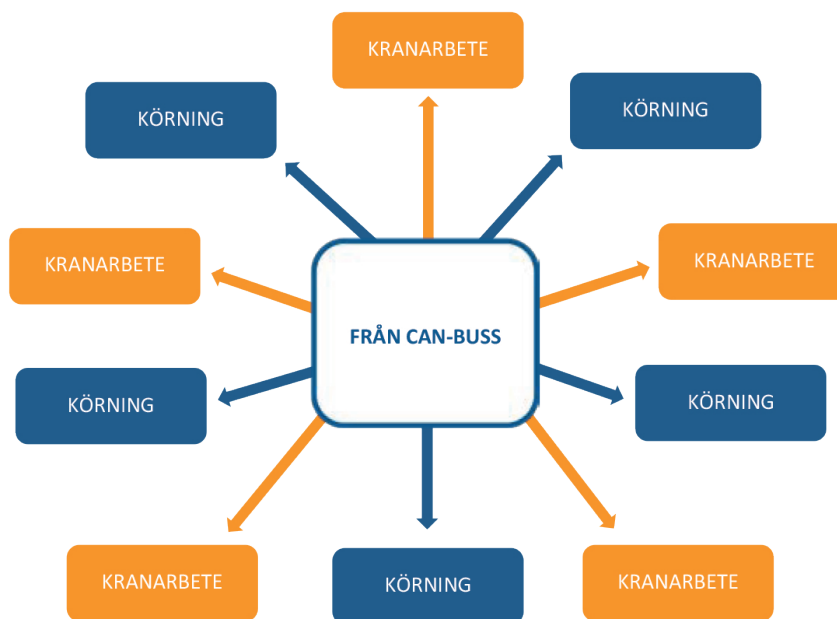
Begränsningar med GNSS och GIS

Data från GNSS-GIS-tillämpningar har således visat sig utgöra en användbar teknisk delkomponent för skotar-ADI. Men geografiska data måste kompletteras med viss mängd tilläggsinfo. Att separera transportarbete från terminalarbete enbart baserat på ett givet tröskelvärde för körhastigheten känns inte tillfredställande (se t.ex. Strandgard & Mitchell 2015). Åtminstone behövs verifieringsstudier innan metodiken kan komma i fråga för praktisk driftuppföljning. I Norden är avlägget dessutom väldigt ofta beläget på insidan av trakten eller strax intill, vilket gör det svårt att särskilja lastning och lossning med *geofence*. Sammanfattningsvis är ovan nämnda lösningar (Spinelli m.fl. 2015; Strandgard och Mitchell 2015) inte direkt tillämpbara för praktisk driftuppföljning under nordiska förutsättningar. Däremot skulle en kombination av data från GNSS-GIS (*geofence*) och CAN-buss vara intressant, men en sådan lösning har inte testats i verkligheten. Detsamma gäller kombinationen av vågdata och CAN-buss. Här finns en outnyttjad teknisk potential. Eftersom GNSS-utrustning redan är standard på skogsmaskiner kan man med relativt begränsad insats konstruera ett enkelt och pålitligt ADI-system för skotning (Figur 3).

ÄR FLERA LÖSNINGAR LÖSNINGEN?

Skotrarbete är inte helt regelbundet till sin natur och den lassvisa variationen är stor. Lossning kan inkludera arbete som är typiskt för lastningsarbete, exempelvis enstaka lastningskrancykler. Det omvända gäller för lastning. För enstaka lass kan sträckorna för körning utan lass och/eller körning med lass vara så korta att de inte låter sig meningsfullt identifieras, vilket innebär att lastnings- och lossningsfaserna smälter ihop och blir svåra att definiera. Denna oregelbundenhet är en utmaning för ADI-system, oavsett vilken lösning man väljer. När ett arbetsmoment identifieras skulle ADI-system lämpligen iakttä ett längre tidsintervall än bara pågående arbetsmoment. Detta innebär att systemet klassificerar ett givet arbetsmoment baserat på både föregående och nästkommande moment, vilket innebär att identifieringen sker retroaktivt med ett litet dröjsmål.

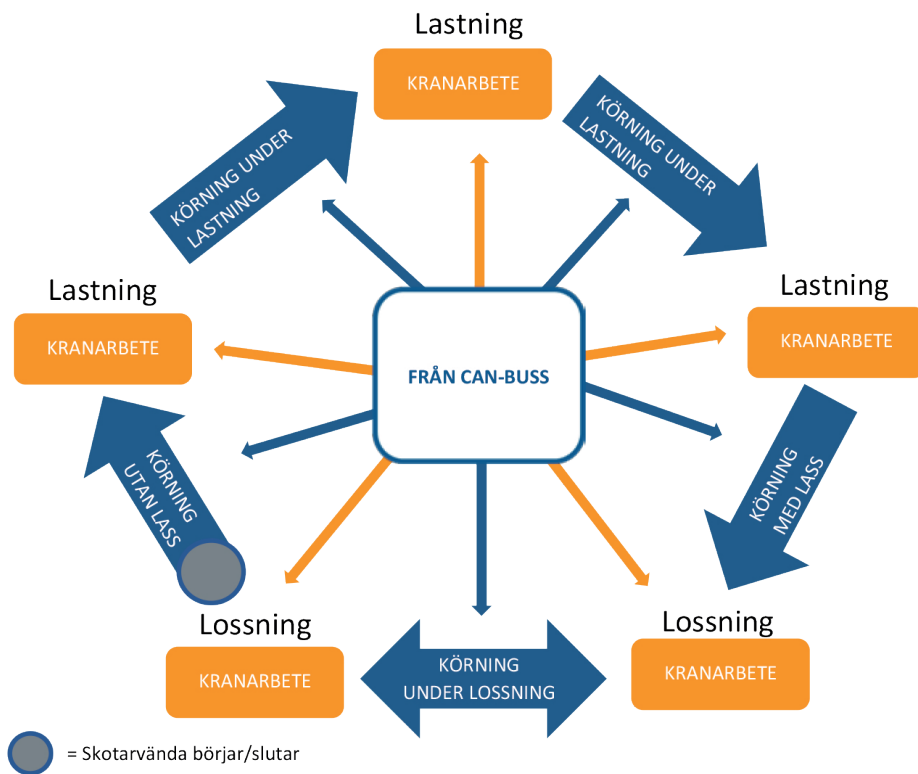
Genom att kombinera (två) olika metoder för att definiera arbetsmomenten förbättras pålitligheten ytterligare. Man kan till exempel tänka sig att kombinera klassificeringsalgoritmer eller vågbaserat system med *geofence*. För att ett specifikt arbetsmoment ska registreras skulle då krävas att de båda parallella systemen har identifierat samma arbetsmoment för det givna tidsintervallet. Vid oenighet registreras tidsintervallet som exempelvis "odefinierat arbete", det vill säga icke specificerat arbete. Ett sådant förfarande medför att en stor andel av skotningsarbetet kommer att klassificeras som odefinierat arbete. Men den svagheten kan till stor del kompenseras genom den stora datamängd som tillgängliggörs genom ADI.



Figur 1. Genom att läsa ut förarens spakrörelser via CAN-buss kan de kran-, styrning- och körningsfunktioner som används detaljerat dokumenteras.



Figur 2. CAN-bussignaler i sig gör det inte möjligt att hålla isär lastnings- och lossningsarbete. Det går heller inte att identifiera ett enskilt lass.



Figur 3. Det är viktigt att kunna identifiera lastning och lossning, eftersom det möjliggör identifiering av övriga arbetsmoment och enskilda lass.

Tekniska utmaningar och begränsningar

Vid studier av skotning vill man ofta ta reda på hur olika arbetsmetoder och tekniska lösningar påverkar prestation och tidsåtgång – totalt eller uppdelat på arbetsmoment, krancykeltider, antal krancykler, körsträckor och körtid etc. Som framgår ovan är det fullt möjligt att ta in dessa variabler via ADI. Vid mer omfattande datainsamlingar så kommer data från flera olika trakter och från olika maskiner som är körda under olika förhållanden och av olika förare. Möjligheterna att se mönster ökar ju fler av de prestationspåverkande variablerna som kan noteras. Det kan exempelvis röra sig om virkeskoncentration, antal sortiment, terrängfaktorer inklusive snödjup, maskintyp, utrustning (kran, grip) och terrängtransportavstånd.

Sortimenten är generellt den viktigaste trakt-specifika variabeln och påverkar skotningen på flera olika sätt. Prestationen är främst beroende av skotad virkeskoncentration, det vill säga lastad virkesvolym per körsträcka (Manner m.fl. 2013). Låga sortimentsvolymen i sig utgör inte något problem, så länge de ligger koncentrerat till olika delar av trakten – man skotar mestadels sortimentrent i alla fall. Således beror den skotade virkeskoncentrationen på hur sortimenten ligger fördelade på trakten och på graden av samlastning. Lassvis sortimentfördelning påverkar både lastnings- och lossningstider (Nurminen m.fl. 2006; Manner m.fl. 2013). I dagsläget är det dock inte praktiskt möjligt att med ADI samla in sortimentspecifika data för enskilda lass. Att länka skotararbete spatialt till skördarens produktionsdata i princip stockvis, är inte realistiskt på kortare sikt. Detta gäller oavsett eventuella förbättringar i precisionen av spatialdata, såsom förbättrad spårbarhet av skördaraggregat (se Lindroos m.fl. 2015). Sortimentsspecifik ADI per lass skulle kräva helt annorlunda sätt att samla och hantera data, såsom Radio-Frequency Identification-teknik (se Gjerdrum 2009; Picchi m.fl. 2015) eller liknande. Inget talar för att en sådan lösning är nära att lanseras. Insamling av sortimentspecifika data för enskilda lass eller under visst tidsintervall förutsätter tills vidare att föraren anger sortiment vid lastning (alternativt vid lossning) och att volym per sortiment registreras baserat på vågdata (t.ex. Komatsu 2017; OptiForwarder... 2016).

Däremot skulle redan sortimentspecifika data kunna samlas in genom ADI om trakt (eller något geografiskt avgränsbart område) väljs som observationsenhet. Denna möjlighet har ännu inte utnyttjats. För att det ska vara möjligt krävs att data från skotarens onboard-dator kompletteras med data från skördarens hpr-filer. Hpr-filerna ger bra information om hur sortimenten är fördelade på trakten. Därmed finns förutsättningar att utvärdera sortimentspridningens inverkan på prestationen. Detta ökar även de statistiska förklaringsmöjligheterna i datamaterial som består av observationer från olika trakter. En sådan lösning skulle innebära en avsevärd förbättring jämfört med dagens uppföljningsstudier samt prestationsnormer, vilka bygger på antagandet att alla sortiment är lika stora och jämnt utspridda över arealen. En mer detaljerad beskrivning av hpr-filen finns till exempel i Jönsson m.fl. (2011), Arlinger m.fl. (2012) och Möller m.fl. (2013). Terrängförhållanden för det enskilda lasset kan däremot registreras via ADI. Dataprecisionen beror på GNSS-signalens noggrannhet samt på den topografiska digitalkartans upplösning (se t.ex. Nyström 2014; Lantmäteriet 2016; Skogsstyrelsen 2016).

SKOTAR-ADI HALKAR EFTER SKÖRDAR-ADI

Skördarens IT-system konstruerades till en början för apteringsändamål, det vill säga för optimerad stamkapning, och har sedan dess också utgjort en bas för skördar-ADI. StanForD-filer (StanForD = Standard for Forest Machine Data and Communication) möjliggör grundläggande ADI för arbetsuppföljning, eftersom varje fällning tidstämplas

(se t.ex. Strandgard m.fl. 2013). Även mer detaljerade tidstämplar, till exempel för varje kapningstillfälle, är tekniskt tillgängliga i dagsläget men är för tillfället inte inkluderade i StanForD-filerna. Mellanrum mellan tidstämplarna kan härledas till olika arbetsmoment. Komplettering av StanForD-filer med CAN-buss-data möjliggör en ännu mer detaljerad arbetsmomentuppdelning inklusive körning, styrning, överlappande arbetsmoment och pauser.

Skotare har studerats mindre än skördare. Det finns flera tydliga orsaker till detta. En hel skotningscykel, det vill säga ett lass, tar upp till en timme, vilket är mycket lång tid med tanke på att datainsamlingen fortfarande främst görs med konventionell metod. Jämför detta med en hel skördararbetscykel, som oftast utgörs av en stam inklusive korta maskinflyttningar och tar mindre än en minut (Nuutinen 2013). Utöver det så påverkas skotningen av flera faktorer som är svåra att mäta in eller kontrollera.

Standardiserad ADI – ett gemensamt mål

ADI är inte enbart av intresse för forskningen. Det kan också komma att utgöra basen i ett framtida, mer ändamålsenligt system för driftsuppföljning och prognoser (detta gäller både skördare och skotare). Även små ändringar i produktivitet är betydelsefulla för lönsamheten. Maskinföraren kan i normalfallet inte själv upptäcka så små produktivitetsskillnader och konventionella tidsstudier skulle kräva alltför omfattande insatser. Därför behövs bra driftuppföljningssystem som ger fortlöpande feedback till förare.

Skogsmaskintillverkarna offererar olika system för driftuppföljning, men deras uppbyggnad varierar avsevärt. John Deeres TimberLink är sannolikt det äldsta och mest kända systemet för både skotare och skördare. Men även det har outnyttjad, men tekniskt tillgänglig, utvecklingspotential. Uppföljningssystemen bör exempelvis ta hänsyn till arbetsförhållanden när förarens prestation jämförs mot ett visst referensvärde. Övriga låg eller hög prestation och bränsleförbrukning kan till exempel lika gärna bero på arbetsförhållanden som på föraren eller laget. Egentligen kan ett avancerat uppföljningssystem anses vara en slags automatiserad tidsstudie.

Därmed är det viktigt att sträva efter att även samla in variabler som är förknippade med arbetsförutsättningar.

ADI kan spela en viktig roll för produktivitetens utvecklingen och blir därmed viktig även för kortvirkesmetodens konkurrenskraft. Metodiken bör utvecklas i samarbete med maskintillverkare, entreprenörer, förare, skogsbolag och forskningsorganisationer. Utvecklingen av StanForD ses som en bra förebild. Grundläggande ADI bör standardiseras enligt samma principer som StandForD. Eventuellt skulle grundläggande tidsstudie-ADI kunna inkluderas i StandForD. Det kommer ändå alltid att finnas utrymme för tillverkare att utveckla egna, mer avancerade, tillverkarspecifika system ovanpå de gemensamma standardiserade grunderna.

Denna rapport baseras delvis på avhandlingsarbetet av Manner (2015). För djupare diskussion och jämförelser mellan manuella och automatiserade datainsamlingsmetoder hänvisas till avhandlingen som finns elektroniskt tillgänglig på Epsilon, SLU.

<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:slu:epsilon-e-3069>

Referenser

- Arlinger, J., Möller, J.J., Sorsa, J.-A. & Räsänen, T. 2012. Introduction to StanForD 2010. Structural descriptions and implementation recommendations. Skogforsk (published draft).
- Eriksson, M. & Lindroos, O. 2014. Productivity of harvesters and forwarders in CTL operations in Northern Sweden based on large follow-up datasets. *International Journal of Forest Engineering*, 25(3), pp. 179-200.
- Gjerdrum, P. 2009. RFID tags applied for tracing timber in the forest products chain. In: *Proceedings of the 5th meeting of the Nordic-Baltic Network in Wood Material Science and Engineering*. October 1-2, 2009. Copenhagen, Denmark. Pp. 109-114.
- Gullberg, T. 1995. Jämförande experimentella studier av lantbrukstraktor med grip-lastarvagn och liten skotare. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik. Doktorsavhandling.
- Holzleitner, F., Stampfer, K. & Visser, R. 2011. Utilization rates and cost factors in timber harvesting based on long-term machine data. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 32(2), pp. 501-508.
- Jönsson, P., Westlund, K., Flisberg, P. & Rönnqvist, M. 2011. Skotningsplanering av rundvirke, GROT och stubbar. Skogforsk, Arbetsrapport.
- Komatsu 2017. MaxiFleet maskinanalys. <https://www.komatsuforest.se/Servicecenter/MaxiFleet/MaxiFleet-Maskinanalys>. [Hämtat 2017-08-02]
- Kellogg, L.D. & Bettinger, P. 1994. Thinning productivity and cost for mechanized cut-to length system in the Northwest Pacific coast region of the USA. *Journal of Forest Engineering*, 5(2), pp. 43-52.
- Lantmäteriet 2016. <https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/Hojddata/Fakta-om-laserskanning/>. [Hämtat 2016-03-03]
- Lindroos, O., Ringdahl, O., La Hera, P., Hohnloser, P. & Hellström, T. 2015. Estimating the position of the harvester head – a key step towards the precision forestry of the future? *Croatian Journal of Forest Engineering*, 36(2), pp. 147-164.
- Manner, J. 2015. Automatic and experimental methods to studying forwarding work. *Acta Universitatis agriculturae Sueciae*, 1652–6880; 2015:128. Sveriges lantbruksuniversitet. Doktorsavhandling.
- Manner, J., Nordfjell, T. & Lindroos, O. 2013. Effects of the number of assortments and log concentration on time consumption for forwarding. *Silva Fennica* vol. 47 no. 4 article id 1030.
- Manner, J., Nordfjell, T. & Lindroos, O. 2016a. Automatic load level follow-up of forwarders' fuel and time consumption. *International Journal of Forest Engineering*, 27(3), pp. 151-160.
- Manner, J., Nordfjell, T., Palmroth, L. & Lindroos, O. 2016b. Load level forwarding work element analysis based on automatic follow-up data. *Silva Fennica* vol. 50 no. 3 article id 1546.
- Mayo, E. 1933. *The human problems of an industrial civilization*. Macmillan Company, New York.
- McNeel, J.F. & Rutherford, D. 1994. Modeling harvester-forwarder system performance in a selection harvest. *Journal of Forest Engineering*, 6(1), pp. 7-14.

- Mederski, P.S. 2006. A comparison of harvesting productivity and costs in thinning operations with and without midfield. *Forest Ecology and Management*, 224(3), pp. 286-296.
- Möller, J.J, Arlinger, J. & Nordström, M. 2013. Test av StanForD 2010 – Implementation i skördare. Skogforsk, Arbetsrapport.
- Nurminen, T., Korpunen, H. & Uusitalo, J. 2006. Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. *Silva Fennica*, 40(2), pp. 335-363.
- Nuutinen, Y. 2013. Possibilities to use automatic and manual timing in time studies on harvester operations. University of Eastern Finland. Doktorsavhandling.
- Nuutinen, Y., Väätäinen, K., Heinonen, J., Asikainen, A. & Röser, D. 2008. The accuracy of manually recorded time study data for harvester operation shown via simulator screen. *Silva Fennica*, 42(1), pp. 63-72.
- Nyström, M. 2014. Mapping and monitoring of vegetation using airborne laser scanning. *Acta Universitatis agriculturae Sueciae*, 1652-6880; 2014:9. Sveriges lantbruksuniversitet. Doktorsavhandling.
- Picchi, G., Kühmaier, M. & de Dios Diaz Marques, J. 2015. Survival test of RFID UHF tags in timber harvesting operations. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 36(2), pp. 165-174.
- OptiForwarder ver 4.730 Opti4G 2016. Käyttöohjekirja. Ponsse Oyj, Finland
- Ponsse 2017. Skotarsystem. <http://www.ponsse.com/se/produkter/opti-informations-system/skogsmaskinsystem/skotarsystem>. [Hämtat 2017-08-02]
- Skogsstyrelsen 2016. <http://www.skogsstyrelsen.se/skogligagrunddata>. [hämtat 2016-03-03]
- Spinelli, R., Magagnotti, N., Pari, L. & De Francesco, F. 2015. A comparison of tractor-trailer units and high-speed forwarders used in Alpine forestry, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 30(5), pp. 470-477.
- Stankić, I., Poršinsky, T., Tomašić, Ž., Tonković, I. & Frntić, M. 2012. Productivity Models for Operational Planning of Timber Forwarding in Croatia. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 33(1), pp. 61-78.
- Strandgard, M. & Mitchell, R. 2015. Automated time study of forwarders using GPS and a vibration sensor. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 36(2), pp. 175-184.
- Strandgard, M., Walsh, D. & Acuna M. 2013. Estimating harvester productivity in *Pinus radiata* plantations using StanForD stem files. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 28(1), pp. 73-80.
- Tiernan, D., Zeleke, G., Owende, P.M.O., Kanali, C.L., Lyons, J. & Ward, S.M. 2004. Effect of Working Conditions on Forwarder Productivity in Cut-to-length Timber Harvesting on Sensitive Forest Sites in Ireland. *Biosystems Engineering*, 87(2), pp. 167-177.
- Väätäinen, K., Ovaskainen, H., Asikainen, A. & Sikanen, L. 2003. Chasing the tacit knowledge - automated data collection to find the characteristics of a skillful harvester operator. In: 2nd Forest Engineering Conference. 12-15 May, 2003. Växjö, Sweden. Skogforsk, Arbetsrapport 539: 3-10.
- Vöry, J. 1954. Eräiden metsätöiden aikatutkimusaineistojen analyysiä. Metsäteho.

