



Skotaren JD1910E i lastningsarbete (maskinen på bilden är inte direkt kopplad till denna rapport). Foto: Rolf Björheden.

## Automatiserad uppföljning av bränsleförbrukning vid skotning

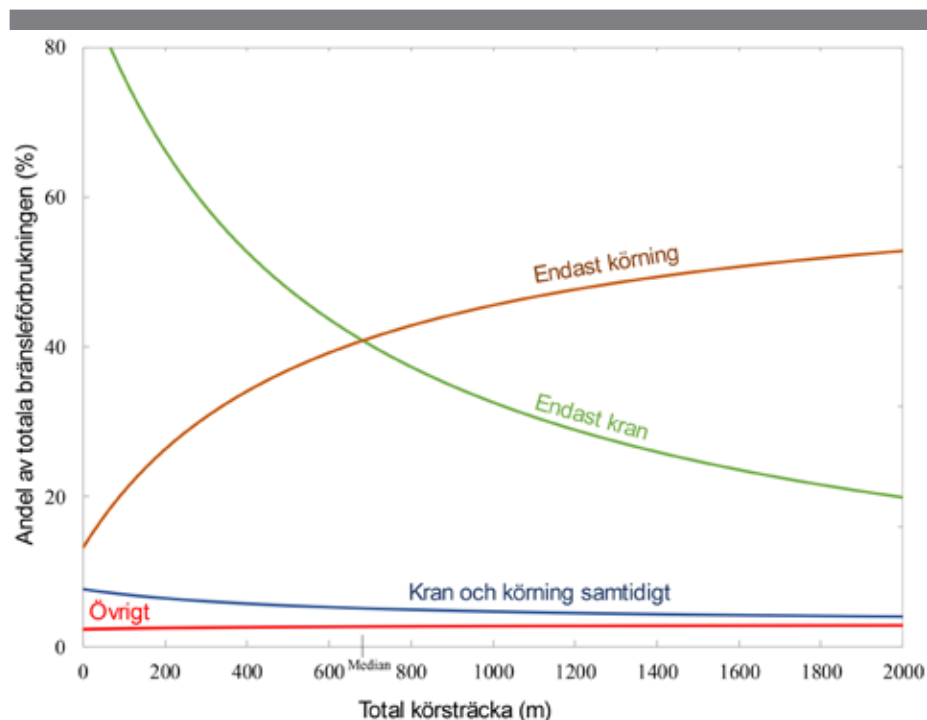
Jussi Manner, Ola Lindroos, Tomas Nordfjell, Rikard Jonsson och Rolf Björheden

Bränsleförbrukningen var starkt korrelerad med tidsåtgången, men trots den starka korrelationen fanns undantag; exempelvis var föraren med lägst bränsleförbrukning inte bland förarna med lägst tidsåtgång, inte heller var föraren med lägst tidsåtgång bland förarna med lägst bränsleförbrukning. Sambandet mellan tidsåtgång och bränsleförbrukning är komplext, men generellt har förare med hög produktivitet även god bränsleekonomi.

Att *körningen* förbrukar mer bränsle per tidsenhet än *kranarbete* förklarar i viss mån det komplexa sambandet mellan tidsåtgång och bränsleförbrukning. Total bränsleförbrukning ökar med ökande total körsträcka medan sambandet inte är lika tydligt mellan total körsträcka och tidsåtgång.

Då man samlar flera sortiment ökar *kranarbetets* andel av den totala tiden och *körningens* andel minskar. För att minska bränsleförbrukningen ska man samlar mer än om målet är att minska tidsåtgången. Det beror på att man, vid samlastning, delvis ersätter arbetsmomentet *körning* med det bränslesnålare arbetsmomentet *kranarbete*.

De ekonomiska besparingar som kan nås genom bränslesnålt arbetssätt är relativt små, men även små besparingar är viktiga i den mogna, kostnadspressade skogsbranschen. För att uppnå bästa ekonomiska resultat är det dock väsentligt att strävan att minska bränsleförbrukningen inte medför sänkt produktivitet.



Figur 1. I grafen redovisas hur de olika arbetsmomentens relativa andel av bränsleförbrukningen förändras vid olika totala körsträckor.

Total bränsleförbrukning (liter/lass) =  $0,0066 \times \text{total körsträcka} + 3,8122$

Endast körning (liter/lass) =  $0,0053 \times \text{total körsträcka} + 0,6271$

Kran och körning samtidigt (liter/lass) =  $0,0002 \times \text{total körsträcka} + 0,2934$

Övrigt (liter/lass) =  $0,0002 \times \text{total körsträcka} + 0,0888$

Endast kran = 3,4 liter/lass.

Modeller har tagits fram baserat på Manner m.fl. (2016)

**S**kogsmaskiner förbrukar stora mängder diesel. Bränslet är en stor kostnadspost vid skotning och medför givetvis även utsläpp av växthusgaser. För att kunna sänka kostnader och utsläpp är det viktigt att kunna mäta och kontrollera maskinernas bränsleförbrukning både detaljerat och representativt.

### Direktmätning – traditionell metod för bränslemätning

Skotare används för terrängtransport av virke till bilväg. Förbrukad bränslevolym har traditionellt mätts genom vägning eller med hjälp av massflödesmätare. Både våg och massflödesmätare kan monteras på maskinen för mätning av förbrukad bränslevolym eller på tanken vid avlägg för mätning av påfylld bränslevolym efter avslutat arbete. Denna typ av metodik

kallas för *direktmätning*. Att göra detaljerade studier, där förbrukningen särskiljs för olika arbetsmoment som *lastning*, *lossning* och *körning* är tidskrävande. Studierna blir därför begränsade i sin omfattning och får därmed bristande generaliserbarhet.

### Indirekt mätning baserad på CAN-buss

Moderna arbetsmaskiner (och andra fordon) är utrustade med en nätverksteknik som kallas CAN-buss, vilket är en förkortning av Controller Area Network. CAN-buss möjliggör att flera styrenheter i fordonet kan sända meddelanden till varandra. Istället för att mäta förbrukad (eller tankad) bränslevolym direkt, kan man uppskatta bränsleförbrukningen baserat på motorparametrar som registreras via fordonens CAN-buss. En sådan s.k. *indirekt*

*mätning* (dvs. uppskattning) av bränsleförbrukning via CAN-buss gör det möjligt att skatta bränsleförbrukningen för mycket korta tidsintervall eller arbetsmoment som t.ex. en enskild krancykel, även om precisionen då kan bli lidande.

Uppskattning av bränsleförbrukning baserat på CAN-bussdata har visat sig pålitlig för relativt långa tidsperioder med relativt konstanta motorvarvtal och vridmoment, under förutsättning att systemet kalibrerats noggrant. Det finns dock en osäkerhet när det gäller korta arbetsmoment, speciellt vid kraftigt varierande motorbelastning.

### Bränsleförbrukning studerad med stöd av CAN-bussdata

Med hjälp av automatisk datainsamling (ADI) samlades under 2011–2013 omfattande tidsstudiedata in för skotning i slutavverkning i Dalarna och Gästrikland. Totalt omfattade datamängden 15 329 skotade lass.

Studien baserades på John Deeres uppföljningssystem TimberLink. Datainsamlingen omfattar två arbetslag och nio rutinerade och duktiga förare. Arbetslagen hade var sin John Deere 1910E-skotare med en lastkapacitet på 19 ton.

Syftet var att genomföra och redovisa en studie baserad på automatisk driftsdatainsamling från flera förare över skotarens arbetsmomentvisa bränsleförbrukning i slutavverkning. För att öka kunskapen om sambanden med några generella faktorer, som sammanhänger med bränsleförbrukningen, registrerades även några prestationsrelaterade variabler, som total tid, körsträcka per lass och hastighet.

### Komplext, icke-linjärt samband mellan prestation och bränsleförbrukning

När datamaterialet analyserades upptäcktes en stark korrelation mellan bränsleförbrukning och tidsåtgång per lass ( $r_s = 0,88$ , se faktaruta om korrelation), men det fanns undantag. Föraren med lägst bränsleförbrukning per lass var inte bland förarna med lägst tidsåtgång per lass. Inte heller var föraren med lägst tidsåtgång per lass bland förarna med lägst bränsleförbrukning per lass (Tabell 1). En analys på förarnivå visade att föraren med lägst bränsleförbrukning per lass också hade kortast total körsträcka per lass och hans körhastigheter var högre än medelvärdet. Trots kortast körsträcka och hög körhastighet var hans tidsåtgång per lass något över medelvärdet. Den relativt höga tidsåtgången kunde i viss mån

## Korrelation

Korrelation anger styrkan och riktningen (positiv eller negativ) för sambandet mellan två variabler. Ett vanligt korrelationsmått är Pearsons korrelation ( $r$ ) som mäter korrelationen för linjära samband. För denna studie är det bättre att redovisa korrelationen enligt Spearman ( $r_s$ ), en metod som även klarar att hantera icke-linjära samband. Spearmans korrelation,  $r_s$ , ger starkare (eller lika) samband jämfört med Pearsons korrelation,  $r$ .

Tabell 1. Medel- och medianvärden för bränsleförbrukning, tidsåtgång och hastighet. Standardavvikelse anges för medelvärden och femte och 95e percentiler är angivna för medianer. I bränsleförbrukningen ingår även tomgångskörning. a) Inklusive både körning och kranarbete.

| Variabel  | Föraren med lägsta värdet | Alla förare tillsammans | Föraren med högsta värdet |
|---|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| <b>Total bränsleförbrukning:</b>                              |                           |                         |                           |
| liter per lass, <i>median</i>                                 | 7,2 [3,0; 13,3]           | 8,5 [3,7; 15,9]         | 10,6 [4,6; 17,3]          |
| liter per timme, <i>medelvärde</i>                            | 9,8 (1,8)                 | 12,0 (2,4)              | 14,3 (2,1)                |
| liter <sup>a</sup> per total körsträcka (l/km), <i>median</i> | 11,7 [8,1; 19,3]          | 12,4 [8,2; 21,9]        | 13,9 [9,6; 22,5]          |
| Total tidsåtgång (minuter/lass), <i>median</i>                | 34,3 [16,9; 64,4]         | 43,1 [18,9; 81,7]       | 52,9 [23,3; 93,8]         |
| Total körsträcka (m/lass), <i>median</i>                      | 579 [171; 1405]           | 670 [200; 1709]         | 909 [286; 1877]           |
| <b>Krantider, <i>median</i>:</b>                              |                           |                         |                           |
| vid lastning (sekunder/krancykkel)                            | 20,0 [16,4; 25,5]         | 23,2 [17,6; 33,4]       | 30,7 [24,9; 37,8]         |
| vid lossning (sekunder/krancykkel)                            | 20,5 [15,8; 27,6]         | 22,6 [16,8; 32,4]       | 27,8 [20,2; 42,8]         |
| <b>Körhastigheter (km/h), <i>medelvärde</i>:</b>              |                           |                         |                           |
| körning utan lass   | 2,9 (1,1)                 | 3,3 (1,1)               | 3,8 (0,9)                 |
| körning vid lastning  | 1,8 (0,6)                 | 2,2 (0,7)               | 2,7 (0,6)                 |
| körning med lass  | 2,4 (0,8)                 | 2,8 (0,9)               | 3,4 (0,9)                 |

förklaras av att han hade längst krancykeltider av förarna. Den förare han delade maskin med (de körde alltså samma skotare på samma trakter) hade högst medelhastighet, lägst tidsåtgång per lass, näst kortast krancykeltid (inkl. både lastning och lossning) och en total körsträcka som var en aning över medianen. Denne förare förbrukade mest bränsle per timme av alla förare, men hans bränsleförbrukning både per lass och per körsträcka var under medianen.

Att *körning* generellt förbrukade mer bränsle per tidsenhet än *kranarbete* förklarar, i viss mån, det komplexa sambandet mellan tidsåtgång och bränsleförbrukning. Total bränsleförbrukning korrelerar mycket starkt med total körsträcka ( $r_s = 0,91$ ). Korrelationen mellan total körsträcka och tidsåtgång är inte lika tydligt ( $r_s = 0,74$ ). Det innebär alltså att kortare total körsträcka inte automatiskt leder till minskad tidsåtgång utan minimering av tidsåtgång är en följd av optimalt beslut om hur olika sortiment samlas. *Kranarbetets* andel av totala tiden ökar och *körningens* andel minskar med tilltagande samlastning. För att minimera bränsleförbrukningen ska man samlas fler sortiment än om skålet är att minimera tidsåtgången. Minimering av bränsleförbrukning erhålls då genom att man i princip ersätter arbetsmomentet *körning* med det bränslesnålare arbetsmomentet *kranarbete*.

### Prestationen avgör lönsamheten

I Norden utgör bränslekostnaden för närvarande ca 12–15 % av skogsmaskinlagens totala kostnader. Om man lyckas minska bränsleförbrukningen med 5 % minskar därför den totala kostnaden enbart med 0,6–0,8 % vid i övrigt lika förutsättningar. Denna grova kalkyl visar tydligt att skogsteknisk metodutveckling i första hand bör riktas mot ökad produktivitet. Men givetvis kan sänkta kostnader för drivmedel ge ett betydande tillskott i skogsmaskinföretagets balansräkning. Väsentligt är att strävan att minska bränsleförbrukningen inte får gå ut över produktiviteten. Tekniska lösningar som effektivare dieselmotor och drivlina, är ekonomiskt effektiva sätt att minska bränsleförbrukningen. Men där har skogssektorn i första hand en tillämparroll.

### Mer avancerad metodik krävs

Studien visar att bränsleförbrukning, tidsåtgång och total körsträcka är starkt korrelerade med varandra. Den visar även att det finns stora individuella skillnader mellan olika förare, beroende på skicklighet och använd arbetsmetodik. Studien kan däremot inte övertygande visa vad som i detalj orsakar de påvisade skillnaderna. En sådan analys förutsätter att data samlas med betydligt högre upplösning, särskilt med avseende på de prestationspåverkande arbets- och terrängförhållanden som

skiljer trakterna åt. De data som samlades i denna studie medger inte att man fastställer vilka skillnader som berodde på förare (kunskaper, arbetssätt etc.) och vilka som hänger samman med arbetsförhållandena på trakten.

En skotares bränsleförbrukning är starkt kopplade till maskinmodell och typ av motor. Studiens absoluta resultat för bränsleförbrukning kan därför inte utan reservation tillämpas för andra skotarmodeller. Det är dock troligt att de generella samband som visats i denna studie är giltiga oberoende av skotarmodell, och att även de absoluta värden som redovisas är relativt allmängiltiga för skotare av samma storlek som här studerats.

CAN-buss-baserad beräkning av bränsleförbrukning har viss osäkerhet vid korta arbetsmoment, men metodens fördelar bedöms ändå vara betydande. Då man har tillgång till skogsmaskinens datorsystem är en arbetsmomentvis uppföljning av bränsleförbrukning via CAN-buss i princip gratis. Metodens precision torde kunna utvecklas ■

Denna rapport baseras på en publicerad studie av Manner m.fl. (2016). Den ursprungliga studien finansierades av Stora Enso Skog AB och forskarskolan FIRST.

”...bränsleförbrukning, tidsåtgång och total körsträcka är starkt korrelerade med varandra.”

#### Ämnesord

Automatisk datainsamling (ADI), prestation, driftuppföljning, CAN-buss, förare, skotning, skotare, bränsleförbrukning, kostnader.

#### Läs mer:

- ▶ Čupera, J. & Sedlák, P. 2011. The use of CAN-Bus messages of an agricultural tractor for monitoring its operation. *Research in Agricultural Engineering* 57:117–127.
- ▶ Manner, J., Nordfjell, T. & Lindroos, O. 2016. Automatic load level follow-up of forwarders' fuel and time consumption. *International Journal of Forest Engineering* 27:151–160.
- ▶ Nordfjell, T., Athanassiadis, D. & Talbot, B. 2003. Fuel consumption in forwarders. *International Journal of Forest Engineering* 14:11–20.
- ▶ Pöllänen, J. 2011. Polttoaineenkulutuksen laskenta OBD2-tietojen avulla. Kajanalands yrkeshögskola. Examensarbete.
- ▶ Rieppo, K. & Örn, J. 2003. Metsäkoneiden polttoaineen kulutuksen mittaaminen, esitutkimus. Metsäteho, Raportti 148, 19.5.2003.
- ▶ Roy, V. & Hamilton, P. 2012. Trials to determine the fuel consumption of a forwarder. *FPIInnovations. Advantage*. Vol. 13 No. 7, December 2012.
- ▶ Surcel, M.D. & Michaelsen, J. 2009. Evaluation of accuracy and precision of truck engine electronic control modules to capture fuel data. *FPIInnovations, Advantage Report* 11(10).

#### Författare:



**Jussi Manner**  
Forskare,  
Skogforsk,  
Uppsala Science Park  
751 83 Uppsala  
jussi.manner@skogforsk.se



**Rikard Jonsson**  
Forskare,  
Skogforsk,  
Uppsala Science Park  
751 83 Uppsala  
rikard.jonsson@skogforsk.se



**Ola Lindroos**  
Professor,  
institutionen för skogens  
biomaterial och teknologi  
901 83 Umeå  
ola.lindroos@slu.se



**Rolf Björheden**  
Professor,  
Skogforsk,  
Uppsala Science Park  
751 83 Uppsala  
rolf.bjorheden@skogforsk.se



**Tomas Nordfjell**  
Professor,  
institutionen för skogens  
biomaterial och teknologi  
901 83 Umeå  
tomas.nordfjell@slu.se

