

ARBETSRAPPORT 1171–2023

Slutrapport: drivare i föryngringsavverkning

En sammanfattning av studier utförda av Skogforsk i samarbete med
Drivargruppen 2014–2022

Rikard Lundqvist



Drivaren Komatsu X19 i samband med skifte mellan skördaraggregat (till vänster) och skotargrip (till höger) inför lossning. Foto: Rikard Lundqvist

Innehåll

Förord	3
Summary	4
Sammanfattning	5
Introduktion	6
Utförda studier	8
1. Det viktigaste vid val av drivningsteknik	8
2. Specialiserade redskap är billigare än kombinationsaggregat	9
3. Drivare och TMS i trakt med grov medelstamvolym	11
4. Drivare och TMS i trakt med grov och klen medelstamvolym	12
5. Ingen skillnad i virkesvärde	13
6. Volymfördelning påverkar prestationen mer än antal sortiment	15
7. Effektivast att avverka utanför skogskanten	17
8. Delautomatiserad drivare	18
9. Drivarens utvecklingspotential	19
10. Metodval vid storskalig analys av maskinsystem	21
11. Storskalig analys av drivare och tvåmaskinsystem	22
Diskussion	23
Referenser	24



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

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts 26 juni 2023 av Petrus Jönsson, biträdande programchef Driftsystem, och Gert Andersson, programchef Driftsystem. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, granskat och godkänt publikationen för publicering 18 augusti 2023.

Redaktör: Charlotte Hessulf, charlotte.hessulf@skogforsk.se
©Skogforsk 2023 ISSN 1404-305X

Förord

Denna rapport sammanfattar forskningen som Skogforsk har utfört tillsammans med Drivargruppen under åren 2014–2022. Drivargruppen bildades under 1990-talet som ett forum för brukare att diskutera specifikationer för nya maskinkoncept samt dela erfarenheter och studieresultat kring dessa. Arbetet med ett nytt drivarkoncept för förnygringsavverkning började 2007.

Jag vill tacka alla som deltagit i Drivargruppen för ert engagemang och den kunskap ni delat i utvecklingsarbetet. Jag vill även tacka alla maskinförare som bidragit med erfarenheter, kreativitet och tålmodigt deltagande i våra studier. Slutligen vill jag tacka alla kollegor på Skogforsk för ert flitiga arbete, som resulterat i de många genomtänkta och välskrivna rapporter som sammanfattas i denna slutrapport.

Rikard Lundqvist

Uppsala, 2023-06-28

Summary

The forest sector is important for Sweden's economy, and the choice of technology in logging operations has long played a crucial role in the sector's global competitiveness. On several occasions, the one-machine system called the harwarder has shown potential to compete with the dominant two-machine system. Efforts in the Harwarder Collaboration Group led to development of the prototype Komatsu X19, brought into operation in 2014, which ever since then has been studied frequently to examine whether the harwarder has potential to compete with the two-machine system.

The aim of this report was to conclude the state of knowledge regarding harwarders, using Skogforsk's work on evaluation in 11 reports, directly or indirectly linked to the X19. The main results were as follows.

1. A comprehensive system analysis of 34,000 final fellings showed that the harwarder was economically competitive on nearly 50% of the felling volume, with potential to reduce total costs by approximately 3%.
2. Decisions on forest technology concern all sustainability perspectives, where financial criteria are often most important, but social and environmental criteria set frameworks.
3. The quick hitch for shifting between the harvester head and forwarder grapple led to a clear increase in productivity compared with the combination head, which could be used for both cutting the tree and unloading from the machine to the roadside pile.
4. The harwarder was most productive on sites with relatively short extraction distances and small total volumes.
5. In contrast to older studies no clear association was found between the harwarder's competitiveness compared with the two-machine system in terms of factors influencing performance, such as stem volume or number of assortments.
6. The angle of a tree stem during processing over a load carrier as for the harwarder differs from that of a harvester placing logs on the ground, but no significant differences were found in wood value.
7. The potential shown for reducing total costs when harwarders are used in Swedish final fellings has not been sufficient to motivate machine manufacturers to start series manufacturing.
8. The harwarder has shown potential for reducing costs for development of methods and automation.

There are currently no known plans for series manufacturing of harwarders, but along with other machine systems with different configurations, the harwarder should continue to be compared with two-machine systems in future studies. Current developments in associated sectors can have a significant effect on potentials for new machine systems, including greater availability of technology for automation and remote control, and alternative fuels to diesel.

Sammanfattning

Skogssektorn är viktig för Sveriges ekonomi och valet av teknik i drivningsarbetet har länge spelat en avgörande roll för den globala konkurrensförmågan. Enmaskinsystemet drivaren har vid flera tillfällen visat potential att konkurrera med det sedan tidigare dominerande tvåmaskinsystemet. Tack vare samverkan i Drivargruppen togs konceptdrivaren Komatsu X19 i drift 2014 och har därefter studerats frekvent, för att söka svar på om drivaren har potential att konkurrera med tvåmaskinsystemet. Syftet med denna slutrapport har varit att sammanfatta kunskapsläget om drivare utifrån Skogforsks utvärderingsarbete direkt eller indirekt kopplat till X19, genom en sammanställning av elva olika rapporter.

Bland de främsta resultaten återfinns:

1. En omfattande systemanalys av 34 000 förnygringsavverkningar, som visade att drivaren var ekonomiskt konkurrenskraftig på något under 50 procent av den analyserade avverkningsvolymen, med potential att sänka den totala kostnadsmassan med cirka 3 procent.
2. Beslutsfattande om skogsteknik berör alla hållbarhetsperspektiv, där ekonomiska mål ofta är centrala – men sociala och miljömässiga mål sätter ramar.
3. Snabbfäste, för skifte mellan redskapen skördaraggregat och skotargrip, medförde en tydlig prestationsökning jämfört med kombinationsaggregat vilket kunde användas både för avverkning av trädet och lossning från maskinen till vältan vid bilväg.
4. Drivaren presterade bäst vid trakter med relativt korta terrängtransportavstånd och små totalvolymmer.
5. I motsats till vad tidigare studier visat återfanns inget tydligt samband mellan drivarens konkurrensförmåga jämfört med tvåmaskinsystemet med avseende på de prestationspåverkande faktorerna stamvolym eller sortimentsantal.
6. Trots att en trädstams vinkel är annorlunda vid upparbetning över en lastbärare som för drivaren, jämfört med över marken som för en skördare, återfanns inga signifikanta skillnader i virkesvärde.
7. Uppvisad potential för totala kostnader för drivare i svenska förnygringsavverkningar har inte varit tillräckliga för att motivera maskintillverkare att inleda serietillverkning.
8. Drivaren har uppvisat potential för kostnadsbesparingar för metod- och automationsutveckling.

Det finns idag inga kända planer på serietillverkning av drivare, men tillsammans med andra maskinsystem med olika konfigurationer, är drivare intressanta att jämföra med tvåmaskinsystem i framtida studier. Det händer idag mycket i angränsande branscher som kan ha betydande påverkan på potential för nya maskinsystem. Däribland kan nämnas ökad tillgänglighet av teknik för automation och fjärrstyrning, och andra energibärare än diesel.

Introduktion

Skogssektorn är viktig för Sveriges ekonomi och valet av teknik i drivningsarbetet har länge spelat en avgörande roll för den globala konkurrensförmågan (Skogsindustrierna 2022). Sedan 1980-talet har tvåmaskinsystemet (TMS) dominerat (Nordfjell m.fl. 2019). TMS består av engreppsskördaren som fäller, kvistar och kapar stockar vid avverkningsplatsen, och skotaren som transporterar stockarna till bilväg. Enmaskinsystemet drivaren har vid flera tillfällen visat potential att konkurrera med TMS, men utan storskalig framgång. Äldre drivare var framtagna för gallring i första hand, men visade störst potential i klena föryngringsavverkningar nära bilväg, med klena medelstamvolymmer, få sortiment och låga totalvolymmer (Figur 1).



Figur 1. Den tidigare serietillverkade Valmet 801 Combi, med kombinationsaggregatet Valmet 330 DUO. Observera det stora paret skänklar i grå färg direkt ovanför matarvalsarna på aggregatet. Skänklarna möjliggjorde att aggregatet inte bara användes för avverkning, utan även lossning.
Foto: Rikard Lundqvist

När intresset falnade försvann dessa drivare, men baserat på erfarenheter från dem tillverkades i stället konceptdrivaren Komatsu X19 (Figur 2). Fokus låg nu primärt på föryngringsavverkning och direktlastning, och i kontrast till äldre drivare med kombinationsaggregat byggdes X19 med snabbfäste som möjliggjorde skifte mellan skördaraggregat och skotargrip. X19 togs fram av Drivargruppen, med representanter från maskintillverkare, skogsbolag och en skogsägarförening (Manner m.fl. 2016).



Figur 2. Ett vanligt tvåmaskinsystem med de serietillverkade maskinerna skotaren Komatsu 895 (till vänster) och skördaren Komatsu 941 (i mitten). Dessa var studieobjekt jämte enmaskinsystemet konceptdrivaren Komatsu X19 (till höger) i ett flertal av de studier som sammanfattas i denna rapport. X19 har snabbfäste och skördaraggregat för avverkningsarbete i figuren, och aggregatet byttes till skotargrip vid lossningsarbete.

Foto: John Sandström/BITZER

Vid framtagande av nya maskinsystem är det viktigt att de presterar bättre än det etablerade systemet, för de mål som är viktigast för beslutsfattarna. Framtida potential, det vill säga förväntad utvecklingspotential för både det etablerade och det nya systemet, behöver också utvärderas (Björheden & Dahlin 1999).

Syftet med denna rapport har varit att sammanfatta kunskapsläget om drivare utifrån Skogforsks utvärderingsarbete direkt eller indirekt kopplat till X19.

Rapporten innehåller sammanfattningar av totalt elva studier. *Det viktigaste vid val av drivningsteknik* var en intervjustudie där respondenterna beskrev sina mål och beslutsprocesser. I studien *Ingen skillnad i virkesvärde* analyserades mätprecision och kapsprickor. I resterande studier låg fokus primärt på tidsåtgång och kostnader. Kostnadsanalyserna utgick från traktnivån, med undantag för *Metodval vid storskalig analys av maskinsystem* och *Storskalig analys av drivare och TMS* där skalan var från ett skogsbolags region upp till nationell nivå.

Utförda studier

1. Det viktigaste vid val av drivningsteknik

Kunskapen om vilka mål, och med vilken betydelse, som finns med i beslutsfattande i skogsteknisk utveckling har tidigare varit dåligt känd. Syftet med denna studie (Jonsson m.fl. 2022b) har därför varit att beskriva och analysera 1) beslutsprocesserna vid sådana beslut, 2) beslutssituationerna, och 3) användandet och behovet av beslutsstöd i besluten. Beslut om X19 användes som fall. Sju personer med erfarenhet av forsknings- och utvecklingsarbete från skogsföretag och skogsägarföreningar intervjuades med semistrukturerat upplägg, det vill säga med intervjuer utifrån förbestämda frågor. Personerna representerade sex olika skogsföretag och en skogsägarförening, som alla var med i hela eller delar av framtagandet och utvärderingarna av X19. Två teoretiska ramverk, ett för beslutsprocesser och ett för beslutssituationer, användes för tolkning av respondenternas svar.

Respondenternas svar om hur beslutsprocesserna såg ut var lika svaren av respondenter från andra branscher. Det framgick att det fanns potential för förbättrat beslutsfattande med mer resurser till diagnostisering av problem i tidiga lägen av utvecklingsarbetet.

Det fanns flera mål i beslutssituationerna. Det främsta målet vid beslutsfattande var att maximera ekonomiska värden, med minimering av drivningskostnader som frekvent exempel. Men samtidigt krävdes att gränsvärden för sociala och miljömässiga mål som förartrivsel, spårbildning och virkesvärde nåddes.

När beslutssituationerna innehöll stora osäkerheter föredrog flera respondenter att samla information genom tester i operativ drift och/eller genom vetenskapliga studier. När osäkerheter ändå kvarstod fortsatte respondenterna endast om de potentiella fördelarna övervägde de beräknade osäkerheterna, och tog nya steg i allt större skala.

Studiens resultat indikerade ett behov av större användning av redan tillgängliga beslutsstöd som problemstruktureringsmetoder för mer precis diagnostisering, simuleringar för att bättre förstå ny teknik, och optimering för att bättre utvärdera storskalig teoretisk potential.

2. Specialiserade redskap är billigare än kombinationsaggregat

Tidigare drivare var utrustade med kombinationsaggregat som kunde användas både till fällning, kvistning och kapning av trädet samt lastning och lossning från maskinens lastrede. Snabbfäste skulle möjliggöra mer effektivt avverkningsarbete med skördaraggregat och lossningsarbete med skotargrip, om samtidigt själva redskapsskiftet också gick tillräckligt snabbt.

Denna studie (Jonsson m.fl. 2016a) avsåg därför att undersöka tidsåtgång och kostnader för drivare, dels med kombinationsaggregatet 330DUO (Figur 1), dels med snabbfäste och specialiserade redskap (Komatsu 365-aggregat samt en 0,36 m² grip) i jämförelse med TMS (Figur 3).



Figur 3. Det tomma snabbfästet (överst i figuren) i X19:s kranspets i samband med skifte mellan skördaraggregat (nedan till vänster) och skotargrip (nedan till höger). Foto: Rikard Lundqvist

Studien baserades på simulering kombinerat med efterföljande konventionella tidsstudier. Simuleringen utfördes med ett dynamiskt, händelsebaserat verktyg. Den simulerade tidsåtgången baserades på produktionsnormer, anpassade efter förväntad prestation. Fältstudierna av tidsåtgång och dieselförbrukning omfattade fyra avverkningsstrakter i Västerbotten.

Snabbfäste och specialiserade redskap ledde till högre prestation och lägre kostnader än kombinationsaggregat enligt både simuleringar och tidsstudier. Simulering fungerade utmärkt för att prediktera systemegenskaper men kräver att modellen baseras på tillförlitliga data.



Figur 4. Förarens vy inifrån hytten på konceptdrivaren Komatsu X19, under upparbetning och direktlastning. Foto: John Sandström/BITZER

Drivaren hade med de antaganden som gjordes i studien, en teoretisk potential att sänka drivningskostnaden i storleksordningen 7–12 procent vid terrängtransportavstånd kortare än 400 meter och upp till tre sortiment. Studien fann inte någon tydlig medelstamsberoende skillnad mellan drivare och TMS och uppfattningarna från tidigare studier skiljde sig på den punkten. Små trakter var gynnsamt för drivaren, men investeringskostnaden var en kritisk faktor. Dieselförbrukningen var i genomsnitt 24 procent lägre per m³fub än normvärden för skördare och skotare.

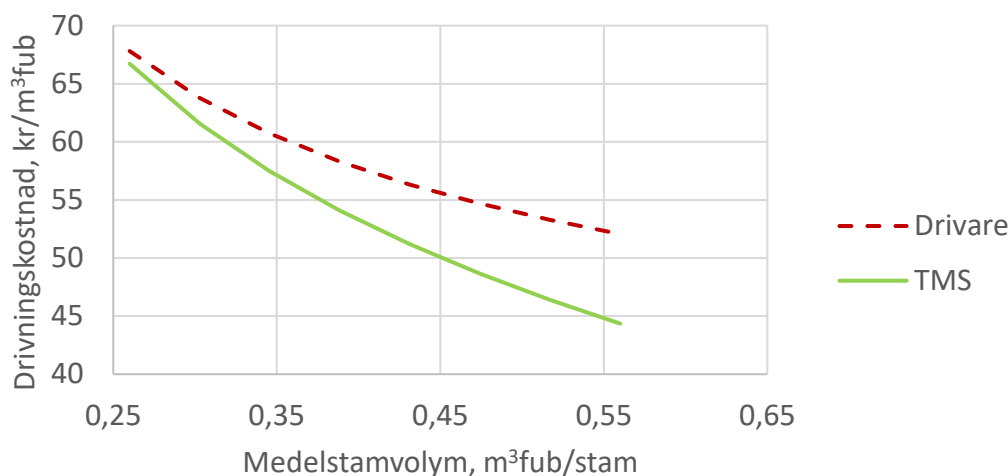
En osäkerhet i denna studie var att materialet härrörde från olika förare och trakter. Här framkom ett behov av att komplettera studien genom att TMS och drivare studeras med samma förare och på samma trakter.

3. Drivare och TMS i trakt med grov medelstamvolym

Utifrån kunskapsluckan om drivare och TMS på samma trakt med samma förare designades denna studie (Jonsson m.fl. 2016b). Studien avsåg tidsåtgång och kostnader för drivare i jämförelse med ett fullstort TMS för föryngringsavverkning som bestod av skördaren Komatsu 941 och skotaren Komatsu 895. En konventionell tidsstudie på momentnivå genomfördes i grov föryngringsavverkning (medelstamvolym 0,34 m³fub/stam), i efterhand kompletterat med simuleringar för klen slutavverkning (medelstamvolym 0,17 m³fub/stam). Tidsstudien gjordes på en trakt i Ångermanland där två maskinförare studerades vid körning av samtliga tre maskiner, en drivare samt tvåmaskinsystem med skördare och skotare (se Figur 1). Vid analysen inkluderades även en trakt från studien av Jonsson m.fl. (2016a).

Medelstamvolym, terrängtransportavstånd och antal sortiment användes som förklarande variabler vid analyserna. Simuleringen utfördes med ett dynamiskt, händelsebaserat verktyg med tider från tidsstudien. Dieselförbrukning mättes genom fysisk mätning av påfylld bränslevolym efter varje studieled.

Med studiens antaganden beräknades drivaren ha potential att sänka drivningskostnaderna med mer än 5 procent jämfört med TMS då medelstamvolymen var lägre än 0,31 m³fub, terrängtransportavstånd kortare än 220 meter och fem sortiment eller färre. Drivaren gynnas av kort transportavstånd, klen medelstamvolym och få sortiment (Figur 5).



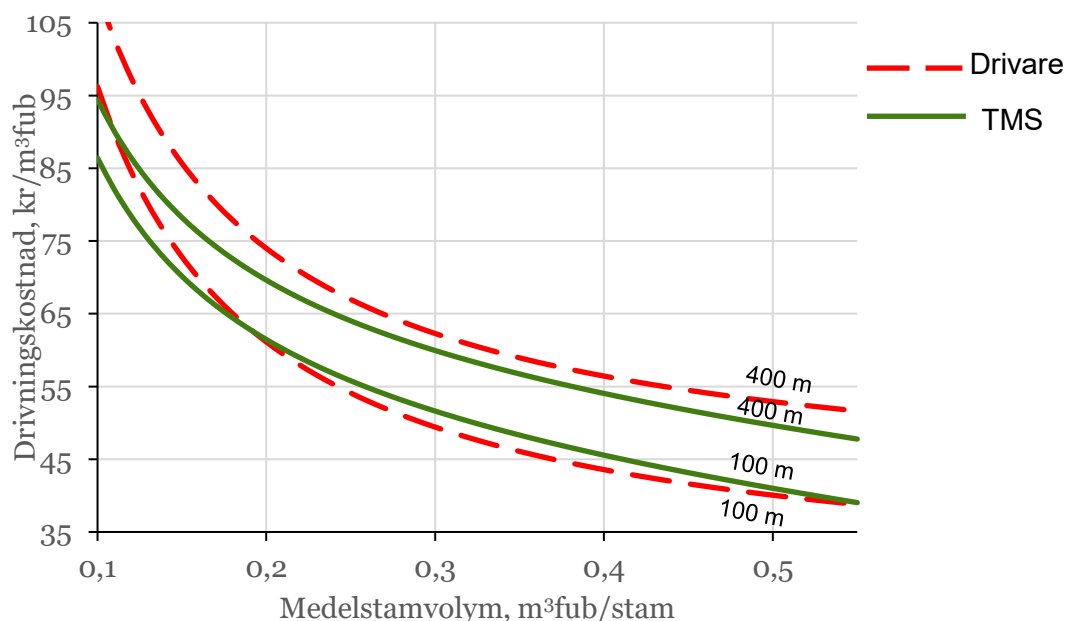
Figur 5. Drivningskostnad för drivare och TMS vid varierande medelstamvolym. Terrängtransportavståndet är 400 meter. Notera att varken y- eller x-axeln börjar vid 0.

Små trakter gynnade avverkning med drivare, medan kapitalkostnaden framhölls som en kritisk faktor. Virkesskörd med drivare hade signifikant högre tidsåtgång för momenten körning och lossning men detta kompenseras mer än väl av att lastningsmomentet i stort sett bortrationaliserats. Simulering visade att en djupare analys av samspelseffekter mellan olika variabler och moment i respektive system bör utföras. Ingen skillnad i dieselförbrukning kunde konstateras. Eftersom drivaren uppvisade störst potential vid klen medelstamvolym konstaterades att en sådan studie skulle vara intressant att genomföra. Detta gjordes senare av Manner m.fl. (2016).

4. Drivare och TMS i trakt med grov och liten medelstamvolym

För att svara mot uppvisad kunskapslucka (Jonsson m.fl. 2016b) om samma maskiner med samma förare även i liten medelstamvolym, modellerades tidsåtgång för drivaren och TMS i denna studie (Manner m.fl. 2016). Även drivningskostnader vid olika terrängtransportavstånd och medelstamvolym beräknades för maskinsystemen. Driftsdata hämtades från en trakt med grov medelstamvolym (samma driftsdata som för Jonsson m.fl. (2016b)) och en med klenare volym (medelstamvolym 0,17 m³fub/stam).

Resultaten visade att båda systemen påverkades påfallande likartat av stamvolym och terrängtransportavstånd. Dock uppvisade drivaren något högre känslighet för terrängtransportavstånd än TMS. I den klena trakten med kort terrängtransportavstånd (100 meter), fanns en tendens till högre prestation för drivaren jämfört med TMS. I den grova trakten med längre terrängtransportavstånd (400 meter) var förhållandet det motsatta. Däremot medförde drivaren inte någon sänkt drivningskostnad jämfört med TMS (Figur 6). Detta beror framför allt på drivarens relativt höga timkostnad.



Figur 5. Drivningskostnad som funktion av medelstamvolym vid 100 och 400 meters terrängtransportavstånd.

Den höga timkostnaden gjorde att det inte räckte att drivaren nådde en prestation i nivå med TMS – ekonomiskt lyckades den inte pressa TMS. Trots drivarens snabbfäste var dess största svaghet, vilket även tidigare konstaterats, den långa avlastningstiden.

5. Ingen skillnad i virkesvärde

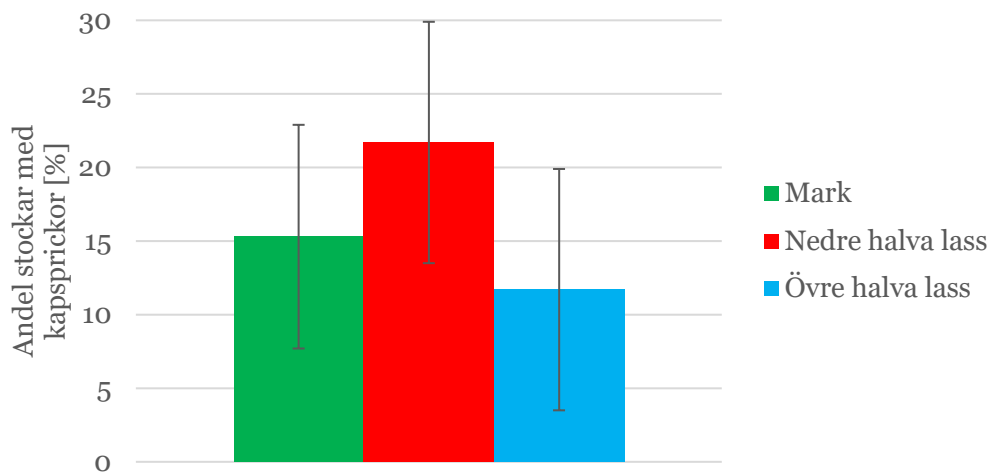
Stammar som direktlastas på en drivare utsätts för andra påfrestningar än dito upparbetat över mark som med en skördare (Figur 7). Denna studie (Ågren 2016) analyserade därför eventuella skillnader kring detta, med fokus på dimensionsmätning och förekomst av kapsprickor.



Figur 6. Upparbetning högt upp i lasset kräver att stammarna lutar. I det här fallet lutar stammen ungefär 25 grader mot marken. Foto: Hagos Lundström

Studien hade två huvudsyften. Det första var att jämföra mätnoggrannhet avseende längd och diameter för drivaren vid upparbetning över en nästan full lastbärare i relation till upparbetning över mark. Det andra syftet var att jämföra andelen stockar med kapsprickor i lasset med andelen stockar med kapsprickor vid upparbetning över mark. Testerna utfördes i en talldominerad skog med en medelstam för tall på 0,43 m³fub. Dimensionsmätningen testades genom jämförelse mellan två försöksled: stammar upparbetade över mark, samt stammar som upparbetats i den övre halvan av lasset. Vid test av förekomst av kapsprickor delades materialet in i tre försöksled: stammar upparbetade över mark, stammar upparbetade i den nedre halvan av lasset och stammar upparbetade i den övre halvan av lasset. Mätningarna av kapsprickor gjordes med trissmetoden (Helgesson 1997).

Testet av mätningen indikerade ingen betydande skillnad i drivarens mätnoggrannhet vid upparbetning över mark jämfört med upparbetning över lastbärare. Resultaten antydde att drivaren mätte stammarnas diameter lite klenare än vad kontrollmätningen visade, men det fanns en stor spridning i diametermätningen för såväl drivare som skördare. Detta kan ha berott på stammarnas utseende, slöa kvistknivar, kvistknivar som hoppat på kvistar, vinkeln på stammen samt aggregatets tryckinställningar. Gällande förekomst av kapsprickor kunde inte någon markant skillnad vid upparbetning jämfört med upparbetning över lass fastslås. Det fanns en tendens till minskad frekvens av kapsprickor i övre halvan av lasset jämfört med nedre halvan av lasset, i jämförelse med övriga försöksled. Resultaten var dock inte statistiskt säkerställda (Figur 8).



Figur 7. Andelen stockar med kapsprickor per försöksled: upparbetning över mark, i nedre halva lass och i övre halva lass. Felstaplarna indikerar det 95-procentiga konfidensintervallet. Observera att ingen skillnad mellan försöksled var statistiskt säkerställd.

Sammanfattningsvis indikerade studien att upparbetning med drivare inte bör medföra någon markant förändring i tillvarataget virkesvärde jämfört med upparbetning med skördare. För att kunna ge en säkrare bild av drivarens dimensionsmätning och hur dess upparbetning påverkar kapspricksfrekvensen krävs kompletterande och mer omfattande tester.

6. Volymfördelning påverkar prestationen mer än antal sortiment

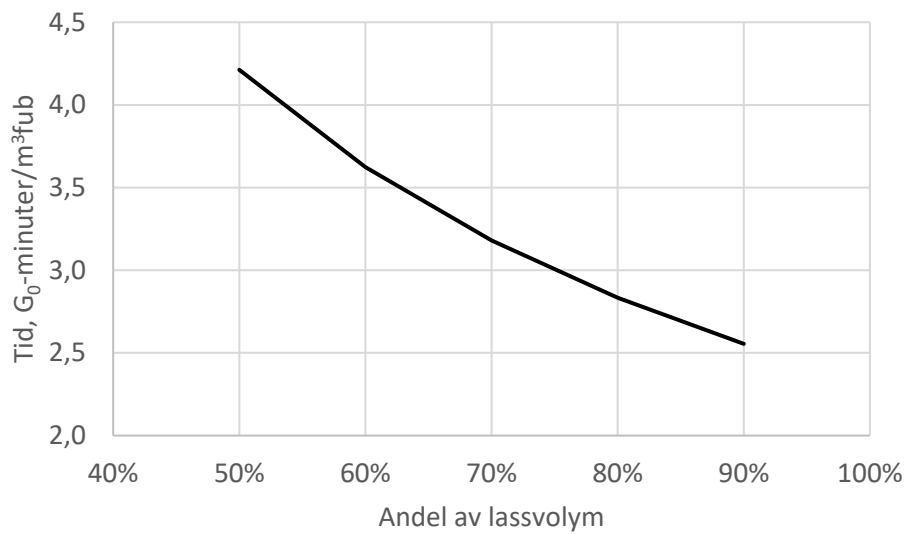
Vid drivararbete upparbetas virket direkt på lastbäraren, så kallad "direktlastning" (Figur 7 och 9). Direktlastning bortrationaliserar stora delar av lastningsarbetet, då lastning sker integrerat med avverkningarbetet. En svaghet med direktlastningen är att sortimenten lastas skogfallande med begränsade möjligheter att särhålla dem på lasset. Detta leder till samlastning som inte är optimal, där vanliga problem är att man får många sortiment på ett lass och sortimentskombinationer som inte är rationella att hantera vid lossning.



Figur 8. Drivaren X19:s lastrede med fyra skiljestöttor som möjliggör särskiljning av sortiment i tre fack. Foto: Gert Andersson

Studiens (Manner m.fl. 2019b) primära syfte var att analysera hur nominellt antal sortiment per lass och lassets sortimentsfördelning påverkar drivarens prestation. Drivaren kördes av två olika förare under datainsamlingen.

Resultaten visade att nominellt antal sortiment per lass är en för abstrakt faktor för att kunna prediktera drivarens prestation. Problemet är att nominellt antal sortiment per lass inte beskriver lassets beskaffenhet. Det är bättre att modellera prestationen utifrån lassets sortimentsfördelning: antingen utifrån andelen som utgörs av lassets största sortiment eller andelen som utgörs av lassets två största sortiment tillsammans (Figur 10).



Figur 9. Tidsåtgång för drivarens terminalarbete som funktion av andelen som lassets två största sortiment utgör av lassets totala volym. Funktionen är baserad på Ekvation 2 i Manner m.fl. (2019b), där antalet stammar per lass antogs vara 40.

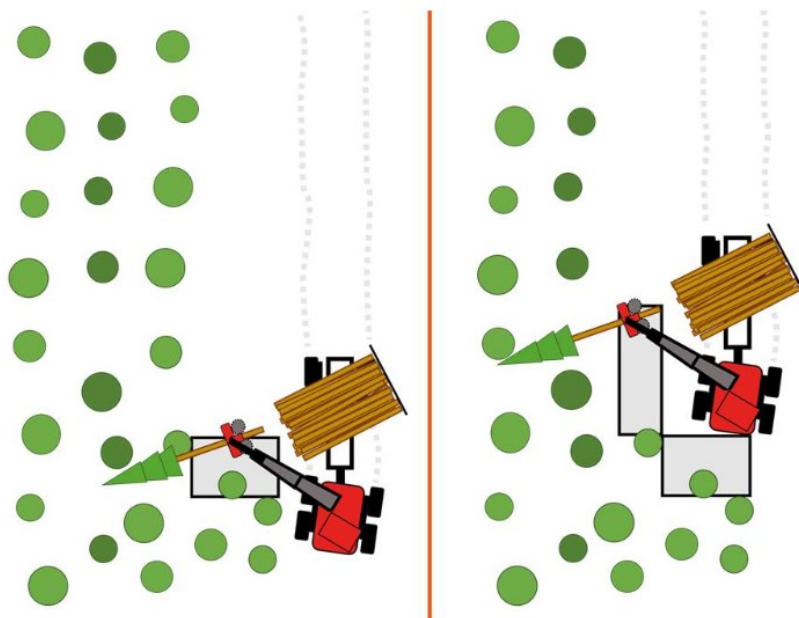
Drivarens prestation ökade snabbt ju större andel av lassets totala volym som koncentrerats på de två största sortimenten, eller det största sortimentet. Det praktiska budskapet var att drivarens prestation, i första hand, inte berodde på antalet sortiment per lass, utan på sortimentens lastvisa storlekar, det vill säga volym per sortiment per lass.

7. Effektivast att avverka utanför skogskanten

Drivarens prestation kan förbättras genom utveckling av teknologi och arbetsmetodik. I denna studie fokuserade vi på att utveckla drivarens arbetsmetodik. Syftet med studien (Manner m.fl. 2020) var att introducera och utvärdera en ny alternativ arbetsmetod och jämföra den med det traditionella sättet att jobba med drivare.

Enligt det traditionella arbetssättet kördes maskinen innanför skogskanten. Fördelen med det var att fler träd kunde avverkas per uppställningsplats. Tack vare den större arbetsbredden blev körsträckan kortare. Men att köra maskinen innanför skogskanten påverkade kranarbetet negativt. Träden måste, rumsligt sett, fällas olämpligt i förhållande till lastredet och följaktligen måste de fällda träden dras längre sträcka till lastredet innan upparbetning kunde påbörjas.

I den alternativa arbetsmetoden fälldes träden utanför skogskanten. Där var läget precis motsatt. På grund av den smalare slagbredden blev lastningskörsträckan längre. Kranarbetet underlättades däremot, eftersom träden fälldes rumsligt optimalt nära lastredet och tack vare det kunde upparbetningen börja strax efter fällningen (Figur 11).



Figur 10. Metoderna körning utanför skogskanten (till vänster) och innanför skogskanten (till höger). Den vänstra figuren visar det effektivaste arbetssättet. Illustration: Jussi Manner

Sammanfattningsvis var det fråga om en avvägning mellan lättare kranarbete och kortare körsträcka. För att ta reda på vilken metod som var bättre genomfördes en jämförande fältstudie där två erfarna förare körde drivaren med båda metoderna.

Resultaten visade att då maskinen kördes utanför skogskanten sparades 8,9 procent G_0 -tid under avverknings-/lastningsarbetet jämfört med körning innanför skogskanten. Denna besparing omvandlades till 4,9 procent för hela arbetscykeln då redskapsbyte (mellan skördaraggregat och skotargrip), lossning, körning tom och körning lastad inkluderades i analysen.

8. Delautomatiserad drivare

Drivaren gör både skördarens och skotarens arbete, vilket gör att drivarföraren måste behärska fler arbetsmoment än skördar- eller skotarföraren. Det gör drivararbetet svårare att lära sig. Med hjälp av automation skulle föraren inte behöva styra lika många maskinfunktioner parallellt och då möjligtvis kunna klara kvarvarande uppgifter snabbare.

De tekniska förutsättningarna för automation är på många sätt bättre för drivaren än för dagens skördar-skotarsystem. Att skördaren lägger kapade stockar på marken innebär att skotaren måste plocka upp stockarna igen. För en eventuell robotiserad skotare är det en svår och komplex uppgift. Stockarna måste identifieras spatialt för att senare kunna plockas upp igen. Det här problemet slipper drivaren, eftersom den kapar stockarna direkt på lastredet. Detta ger drivaren unika förutsättningar för automation. Studiens syfte var att analysera möjligheterna att öka drivarens prestation genom att automatisera vissa arbetsmoment.

Studien (Manner m.fl. 2019a) gjordes i maskinsimulator (Figur 12) där prestationen hos en manuellt styrd drivare jämfördes med en drivare där vissa arbetsmoment var automatiserade.



Figur 11. Drivare i Skogforsks maskinsimulator Troëdsson Forestry Technology Lab. Foto: Martin Englund

Resultaten visade att det inte fanns någon generell prestationsskillnad mellan en manuellt styrd drivare och en drivare utrustad med automatiska funktioner.

Däremot fanns det statistiskt säkerställda skillnader då automatikens inverkan analyserades momentvis. Vid körningarna med automatik ökade tidsåtgången under arbetsmomentet fällning av trädet.

Däremot sparade automatiken tid under intagning av fällda stammar och vridning av lastredet. De uppmätta tidsskillnaderna var dock relativt små och varierade dessutom något mellan de två förarna som deltog i studien. Mer betydande tidsbesparingar kräver en hel del utvecklingsarbete, till exempel kring förarspecifika maskininställningar.

9. Drivarens utvecklingspotential

När nya system introduceras följer det vanligtvis mer prestationsutveckling via teknik och metoder än vad det finns potential för hos etablerade system. Syftet med denna studie (Jonsson m.fl. 2020) var att kartlägga drivarens utvecklingspotential.

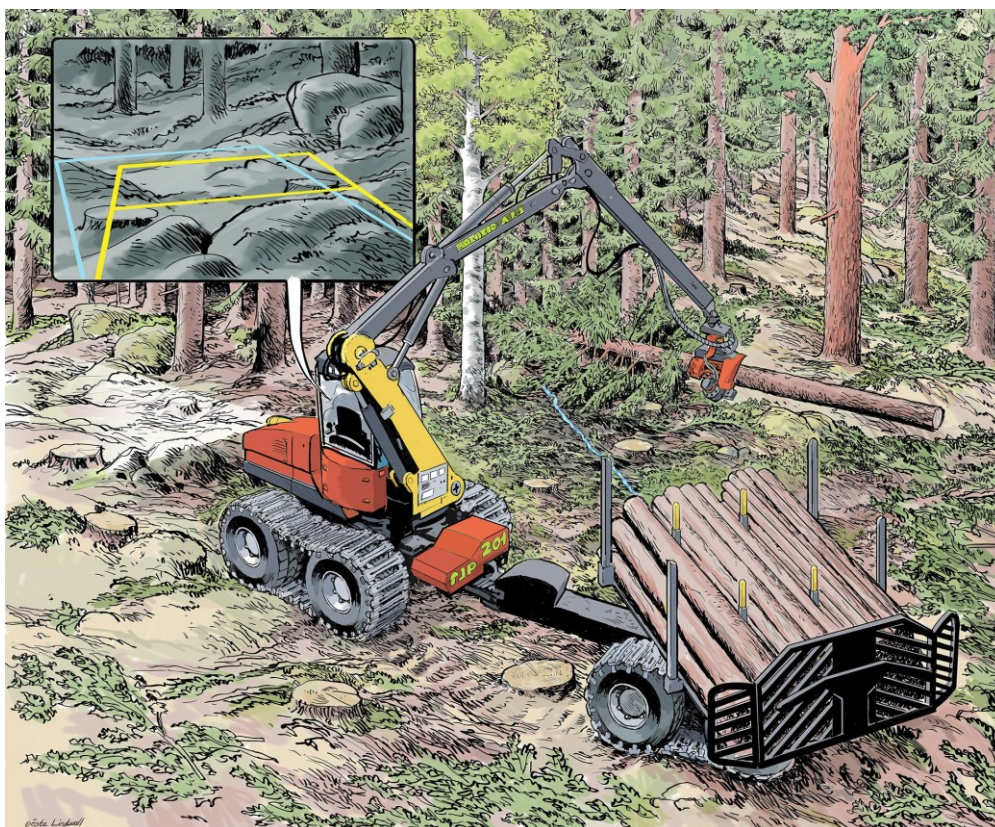
År 2019 hölls en workshop med förare som kört Komatsu X19, en stabstjänsteman och några forskare. Deltagarna formulerade idéer till tekniska och metodmässiga förbättringar. Förbättringsförslagen med potential att spara tid analyserades efter workshopen. Komatsu Forest AB bedömde kostnader för tekniska förändringar. Därefter bedömdes potentiella kostnadsbesparingar.

Av förslagen som bedömdes ge sänkta drivningskostnader återfanns följande tekniska förändringar (Figur 13):

- en ny kran med ledad tiltpelare
- assistans för körning mellan uppställningsplatser under avverknings- och lastningsarbete
- lastrede med automatiskt höj- och sänkbara skiljestöttor
- låsning av aggregatets tilt vid upparbetning av klenare stamdimensioner
- snabbare låsning av aggregatet som underlättar att utföra redskapsskifte vid avverkningsplatsen i stället för vid avlägg.

Det återfanns även en metodförändring i att den rena avverkningsplatsen tack vare direktlastning öppnar för andra körmönster.

De tekniska förändringar och den metodutveckling som föreslogs bedömdes ackumulerat leda till 9,4 procents tidsbesparing. Investeringskostnaden höjdes ackumulerat med 0,6 Mkr. Drivningskostnaderna bedömdes därmed kunna sänkas med cirka 6 procent.



Figur 12. Illustration av drivare under pågående avverknings- och lastningsarbete. Föreslagna tekniska ändringar är markerade i gult. Illustration: Gösta Lindwall

Förslagets effekter på tidsåtgång och drivningskostnad var av naturliga skäl svåra att bedöma, och det fanns en osäkerhet i hur utfallet skulle bli i realiteten. Osäkerheten berodde bland annat på troliga skillnader mellan beräkningar baserat på ett mindre urval av studier med skickliga förare, till storskalig operativ drift med ett kollektiv av förare. Sammantaget betraktas det som sannolikt att rapportens resultat visade på potential med möjlighet att falla ut något bättre om serietillverkade drivare införs i större skala. Den bedömningen grundade sig på att vi konsekvent har varit försiktiga när det gäller skattningar av potentialen till de olika tidsbesparingarna.

10. Metodval vid storskalig analys av maskinsystem

Vid val av maskinsystem måste många faktorer övervägas; totalkostnader är en central sådan. Överväganden likt dessa kan göras med olika modeller, med olika styrkor och svagheter. Syftet med denna studie (Jonsson m.fl. 2022b) var att analysera och jämföra TMS och drivarens potential med två olika modeller: en *detaljerad optimeringsmodell* och en *aggregerad analysmodell i Excel*. Båda modellerna hade målet att minimera de totala kostnaderna samtidigt som industrins efterfrågan möttes utifrån ett givet utbud av tillgängliga avverkningstrakter.

Den detaljerade optimeringen konstruerade en fiktiv maskinflotta där varje maskinlag tilldelades trakter. Beräkningar av kostnader för flyttar av maskiner mellan trakter och resor mellan hem och trakterna gjordes med fiktiva avstånd. Traktbankens utbud och industrins efterfrågan matchades för flera perioder. Då detta optimeringsproblem var mycket stort och komplicerat, delades optimeringen in i olika faser.

Den aggregerade analysen i Excel utgick från medelvärden för flyttar och resor. Det gjordes en matchning mellan utbud och efterfrågan, men aggregerat för hela analysen.

Analyserna gjordes för ett helt års slutavverkningar för ett stort skogsbolags region i Mellansverige, med information som var nödvändig för att beräkna kostnader för drivning, maskinflyttar och resor mellan operatörens hemmabaser och trakterna. Tillvägagångssätten testades för två scenarier: 1) när endast TMS var tillgängligt, och 2) när både TMS och drivare var tillgängliga.

Resultaten visade att de båda modellerna gav väldigt lika resultat för de centrala delarna totalkostnader och antal maskinsystem (Tabell 1). Studien visade också att när detaljerade resultat är viktigt, var också den detaljerade optimeringen att föredra, medan när endast siffrorna på sista raden efterfrågas, exv. total kostnadsbesparing, räckte den aggregerade analysen i Excel väl.

Tabell 1. Resultat från analysen av de två modellerna, när TMS och drivare konkurrerade i analyserad region i Mellansverige. Att den *detaljerade optimeringsmodellens* antal maskinsystem är i heltal, och med decimal för den *aggregerade analysmodellen i Excel* beror på skillnader i beräkningarna.

Variabel	Detaljerad optimeringsmodell	Aggregerad analysmodell i Excel
Antal TMS	15	14,5
Antal drivare	18	18,2
Totala kostnader TMS och drivare, miljoner SEK	139,2	134,7

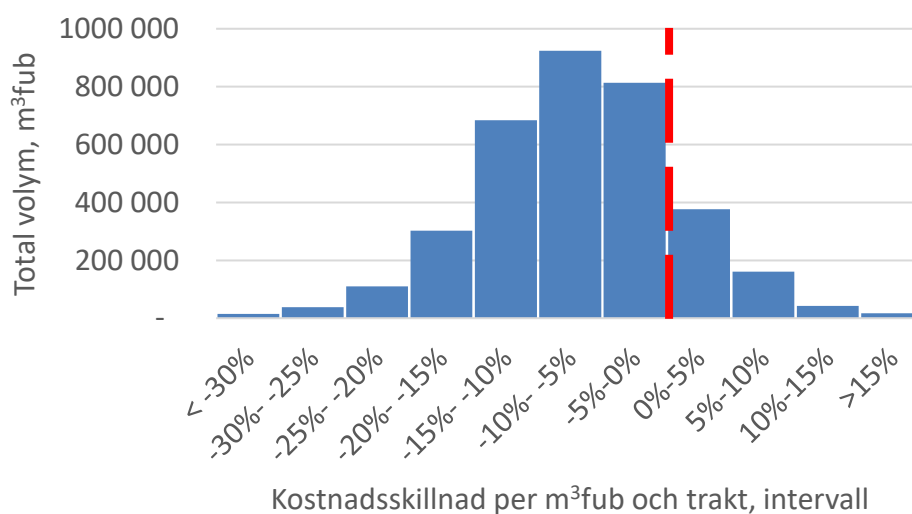
De jämförda modellerna passar bra även till andra jämförelser, som att välja passande maskinstorlekar, lokalisering av maskinlag eller att jämföra det etablerade TMS med potentiella framtida maskinsystem. Jämförelser kan utgöra grunden för planering av implementering av nya maskinsystem.

11. Storskalig analys av drivare och tvåmaskinsystem

Tidigare studier av avverkningsarbetets totalkostnader (drivning, maskinflyttar och personalens resor) hade fokus på traktnivå. I denna studie (Jonsson m.fl. 2022a) analyserade vi därför drivarens potential i stor skala i svenska föryngringsavverkningar.

Med funktioner för tidsåtgång och kostnader för skördare, skotare och drivare från tidigare studier, analyserades drivningskostnader på en tredjedel av Sveriges årliga föryngringsavverkningar under fyra år. Avverkningsmaterialet erhöles av Billerud, Holmen, Stora Enso, Sveaskog och Södra skogsägarna, uppdelat på totalt 16 regioner. Analysen gjordes inledningsvis med endast TMS tillgängliga, och därefter med TMS och drivare i konkurrens, där totala kostnader och besparingspotential med att introducera drivare beräknades. Analysen genomfördes med två olika analysmodeller: en med detaljerade optimeringar och en med en aggregerad analysmodell i Excel.

Då ungefär hälften av volymerna i hela materialet avverkades av drivare (250 drivare) uppvisades en kostnadsbesparingspotential på cirka 3 procent. Potentialen var störst på trakter med korta avstånd till bilväg och små totalvolym. Det fanns en stor variation mellan regioner; från ingen besparing till en besparing på 10 procent. Regionerna med störst potential återfanns i södra Sverige, medan TMS var tydligt effektivare i norra Sverige. I regionerna med störst besparingspotential var drivaren tydligt mer effektiv (Figur 14). Båda analysverktygen visade väldigt lika resultat.



Figur 13. Kostnadsskillnad per trakt vid drivning med drivare i stället för TMS. Negativt procenttal signalerar en besparing med att använda drivare. Varje stapel är en summering av avverkningsvolymerna från intervallet som anges på x-axeln. Den röda streckade linjen ligger vid noll procent skillnad. Presentationen är från en region i studien som är beläget i södra Sverige, med verktyget med övergripande beräkningar.

Drivarens uppvisade potential i föryngringsavverkningar har inte skapat tillräcklig efterfrågan för att motivera maskintillverkare att inleda serietillverkning. Drivaren och andra enmaskinsystem har dock potential, tack vare de möjligheter för ökad automationsgrad och fjärrstyrning som följer med den snabba teknikutvecklingen.

Diskussion

Denna rapport är en sammanfattning av Skogforsks studier av drivaren Komatsu X19, i samverkan med Drivargruppen, under åren 2014–2022.

Kunskapen om drivaren som maskinsystem har vuxit för varje studie och den samlade slutbilden är att drivaren har störst potential jämfört med TMS i förnygringsavverkningar med relativt korta terrängtransportavstånd och små totalvolym per trakt.

I kontrast till tidiga studier förefaller stamvolym och sortimentsantal ha en liten eller obetydlig inverkan på drivarens potential. För att beskriva sortimentens inverkan på drivarens potential, och även olika maskinsystems potential, kan sortimentskomplexitet som faktor vara värt att överväga. En jämn volymfördelning över flera sortiment, jämnt rumsligt fördelade över trakten skulle innebära en hög sortimentskomplexitet. Detta skulle troligen vara till något större nackdel för drivaren än TMS, men behöver studeras mer.

Sammantaget har drivaren, med X19 som huvudsakligt studieobjekt, inte uppvisat en tydlig förmåga att prestera bättre än TMS i svenskt skogsbruk. Utvecklingspotentialen förefaller vara betydande, men det är oklart om det räcker då ingen serietillverkning av drivare för förnygringsavverkning har inletts sedan de sammanfattade rapporterna har redovisats för skogsnäringsen.

Under skogsbrukets mekanisering och efterföljande tekniska utveckling har drivningskostnader varit en central faktor för att avgöra hur intressant ny teknik har varit. Idag är det flera mål som beaktas och denna ökade beslutskomplexitet motiverar att tydligare klargöra vad målen är i framtida utvecklingsinsatser.

Vid utvärderingar av drivaren har flera olika analysmetoder använts, där de flesta används frekvent av Skogforsk. Flera har utgått från medelvärden. *Metodval vid storskalig analys av maskinsystem* visade dock på en jämförelse mellan en aggregerad analysmodell i Excel med medelvärden och en detaljerad optimering, som har tillämpats sparsamt i det skogliga forskarsamhället. Studien visade att båda modellerna gav mycket lika resultat på sista raden, med värden som total kostnadsbesparing med ett nytt maskinsystem, varför aggregerad analysmodell passar när behovet av låga analyskostnader är primärt, medan en detaljerad optimering passar när fler parametrar behöver analyseras och med högre upplösning. Slutsatserna kan hjälpa beslutsfattare att välja rätt modell utifrån deras behov i framtida utvärderingar. När modellerna användes på nationell skala i *Storskalig analys av drivare och TMS* försåg de beslutsfattare med kvantifieringar av drivarens potential vilket togs emot mycket väl av näringen och bör utgöra en självklar del av framtida analyser.

Konceptmaskinen Komatsu X19 är idag tagen ur drift och demonterad, och det finns inga kända planer på serietillverkning i dagsläget. Utvecklingsarbetet har dock bjudit på mycket kunskap och lärdomar. Drivare, tillsammans med andra maskinsystem med olika konfigurationer, är intressanta att jämföra med TMS i framtida studier. Det händer idag mycket i angränsande branscher som kan ha betydande påverkan på potentialen hos nya maskinsystem. Däribland kan nämnas ökad tillgänglighet av teknik för automation och fjärrstyrning, och andra energibärare än diesel.

Referenser

- Björheden, R. & Dahlin, B. 1999. The complete logging machine-the feasibility of the harvester-forwarder in Swedish forestry. Paper presented at the Timber harvesting and transportation technologies for forestry in the new millenium. Conference proceedings. Pietermaritzburg, South Africa June.
- Helgesson, T. 1997. Förekomst av kapsprickor hos sågtimmer upparbetat med skördare. Träteknik rapport Nr. 9712100.
- Jonsson, R., Jönsson, P. & Lundström, H. 2016a. Prestation och kostnader för slutavverkningsdrivare Komatsu X19 med snabbfäste. Skogforsk, Arbetsrapport nr. 911.
- Jonsson, R., Jönsson, P., Manner, J., Björheden, R. & Lundström, H. 2016b. Prestation och kostnader för drivaren Komatsu X19 och tvåmaskinsystem med Komatsu 941 och 895 i grov slutavverkning. Skogforsk, Arbetsrapport nr. 912.
- Jonsson, R., Mörk, A., Manner, J. & Englund, M. 2020. Drivarens utvecklingspotential - Resultat från workshop med drivarförare. Skogforsk, Arbetsrapport nr. 1058.
- Jonsson, R., Rönnqvist, M., Flisberg, P., Jönsson, P. & Lindroos, O. 2022a. Country wide case analysis of potential harwarder use in Sweden. Scandinavian Journal of Forest Research, 38(1-2):105-120.
- Jonsson, R., Rönnqvist, M., Flisberg, P., Jönsson, P. & Lindroos, O. 2022b. Comparison of modelling approaches for evaluation of machine fleets in central Sweden forest operations. International Journal of Forest Engineering, 34(1):42-53.
- Jonsson, R., Woxblom, L., Björheden, R., Nordström, E.-M., Blagojevic, B. & Lindroos, O. 2022. Analysis of decision-making processes for strategic technology investments in Swedish large-scale forestry. Silva Fennica, 563.
- Manner, J., Englund, M., Mörk, A., Lundström, H. & Jonsson, R. 2019a. Utveckling och utvärdering av automation för drivare. Skogforsk, Arbetsrapport nr. 1028.
- Manner, J., Jonsson, R., Jönsson, P., Björheden, R. & Lundström, H. 2016. Prestation och drivningskostnad för drivarprototypen Komatsu X19 jämfört med ett konventionellt tvåmaskinsystem. Skogforsk, Arbetsrapport nr. 916.
- Manner, J., Lundström, H., Mörk, A. & Jonsson, R. 2020. Två alternativa arbetsmetoder för drivare. Skogforsk, Arbetsrapport nr. 1044.
- Manner, J., Mörk, A., Arlinger, J. & Jonsson, R. 2019b. Prestationsutvärdering av drivare med avseende på sortimentsfördelning på lasset. Skogforsk, Arbetsrapport nr. 1013.
- Nordfjell, T., Öhman, E., Lindroos, O. & Ager, B. 2019. The technical development of forwarders in Sweden between 1962 and 2012 and of sales between 1975 and 2017. International Journal of Forest Engineering, 30(1), 1-13.
- Skogsindustrierna. 2022. Skogsnäringens betydelse för ekonomi och välfärd.
- Ågren, K., Hannrup, B., Jonsson, R., Jönsson, P., Lundström, H. & Nordström, M. 2016. Utvärdering av dimensionsmätning och förekomst av kapsprickor vid avverkning med Komatsu X19. Skogforsk, Arbetsrapport nr. 892.