

Drivarens utvecklingspotential

RESULTAT FRÅN WORKSHOP MED DRIVARFÖRARE

Development potential for harwarders – Results from a workshop with harwarder operators

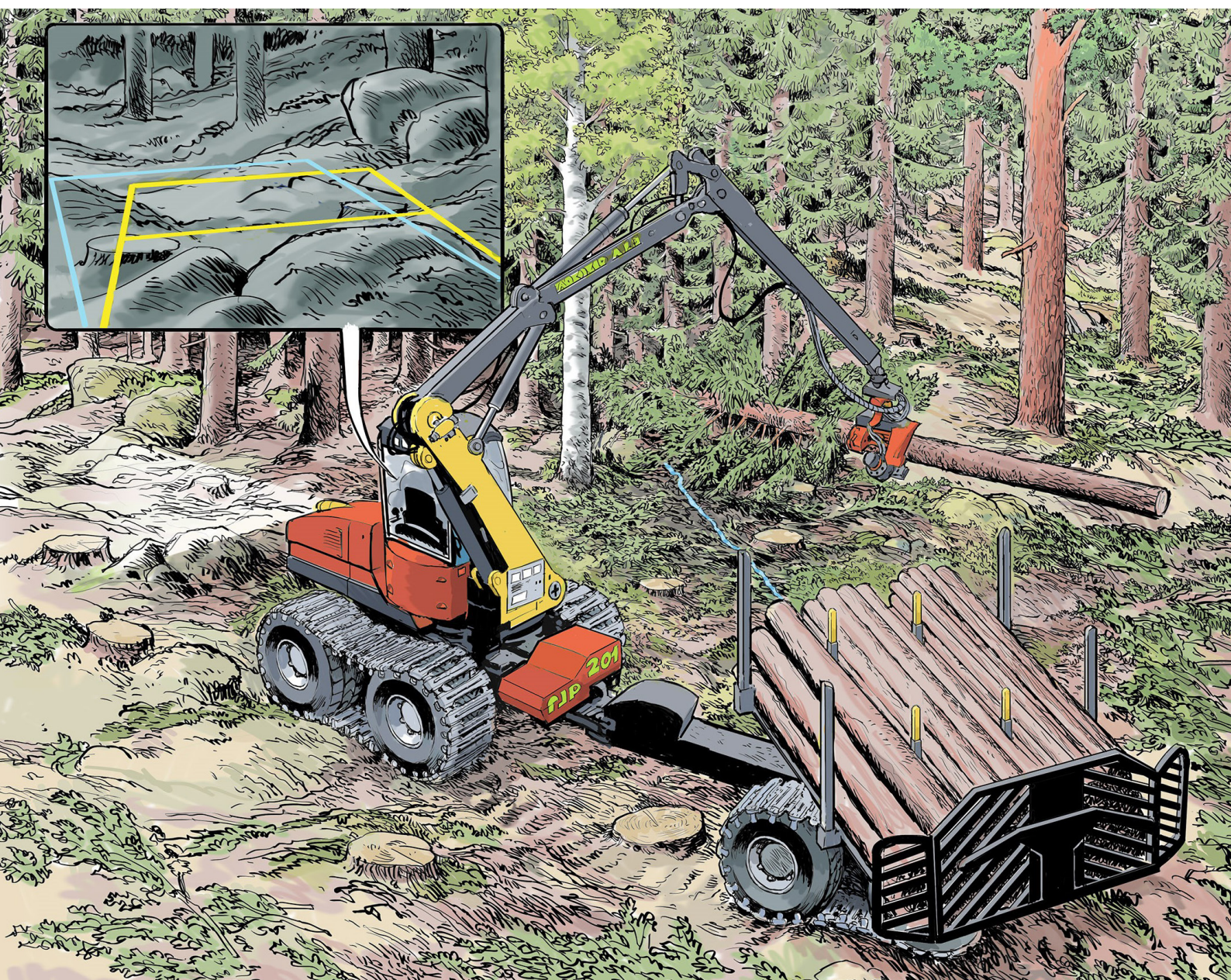


Illustration av slutavverkningsdrivare under pågående avverknings- och lastningsarbete. Tekniska ändringar som föreslås i rapporten är markerade i gult. Illustratör: Gösta Lindwall

Summary

Several studies have shown that harvesting costs for the harvester-forwarder system and the harwarder prototype, Komatsu X19, are similar. However, before a new batch-produced harwarder can be introduced to the market, the harwarder must be able to demonstrate more cost savings. When new systems are introduced, it is usually because performance improvements through technology and methods exceed the potential in existing systems. The aim of this project was to examine the development potential of the harwarder.

In 2019, a workshop was held involving operators with experience of the Komatsu X19, a forest administrative professional, and some researchers. The participants formulated ideas for technical and method-related improvements, and the workshop resulted in several proposals for improvements. The proposals with potential for saving time in harvesting were analysed after the workshop. Komatsu Forest AB assessed the costs of the technical changes, and effect on harvesting costs was then analysed.

The proposals that could reduce harvesting costs included the following technical changes: a new crane with flexible tilt pillar, assistance for driving between harvesting positions during harvesting and loading, load space with automatic raising and lowering of separating stakes, break of harvester-head tilt when processing small stem dimensions, and faster break of the harvester head, making it easier to change equipment at the harvesting site instead of landings. A change in method was also proposed – direct loading at the harvesting site enables new driving patterns.

The technical and methodological developments together were estimated to lead to a time saving of 9.4 percent. The accumulated investment cost was increased by SEK 0.6 million. The estimated harvesting costs were approximately 6.0 percent lower.

Naturally, the effects of the proposals on time and harvesting cost were difficult to estimate, and there is some uncertainty in what the outcome would be in reality. Causes of the uncertainty include possible differences between calculations based on a small number of studies with skilled operators and calculations based on large-scale operation with a group of operators. Overall, it is regarded as probable that the results indicate potential for somewhat improved outcome if batch production of harwarders were to be introduced on a larger scale. This conclusion is based on our cautious estimates of potential for the different time savings.

Förord

Detta projekt initierades i samråd med Drivargruppen och i samarbete med SCA Skog. 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 slutavverkning började 2007. Drivargruppen bestod i april 2019 av:

Företag	Namn
Billerud Korsnäs	Per Nordahl
Holmen	Jonas Eriksson
Holmen	Robert Johansson
Stora Enso	Mattias Bränngård
Sveaskog	Linnéa Carlsson
Södra	Patrik Anderchen
Södra	Magnus Petersson
Skogforsk	Rikard Jonsson (sammankallande)
Skogforsk	Petrus Jönsson
Skogforsk	Hagos Lundström
Skogforsk	Jussi Manner
Skogforsk	Anders Mörk

Vi tackar maskinförarna Erik Norrman från SCA, Per Andersson från Sveaskog, Anders Lidén, Robert Eriksson och Christer Sjulgård från Holmen, Sven-Olof Engstrand från Södra och Lars-Erik Olsson från Stora Enso som deltog i workshopen och delade med sig av erfarenheter, intryck och idéer om hur drivaren kan bli effektivare. Vi vill också tacka vår Skogforskkollega Malin Juter som bidrog med förberedelser och ledning av workshopen.

Till sist vill vi tacka Karl Erik Önneshöjers stiftelse för vetenskaplig forskning och utveckling som har bidragit finansiellt till studien.

Författarna

Uppsala, 2020-09-03

Innehåll

Summary.....	2
Förord	3
Sammanfattning.....	6
Introduktion	7
Material och metoder	8
Resultat	10
Förslag till förbättringar	10
Kran.....	10
Assistans för körning mellan uppställningsplatser.....	10
Lastrede och tiltlås.....	11
Körmönster och redskapsskifte.....	12
Total besparing	15
Diskussion	17
Referenser.....	19
Internet	19

Bilaga 1. Momentbeskrivning.....	20
Bilaga 2. Koefficienter i maskinkostnadskalkyl	21
Bilaga 3. Beräkningar bakom förslagen	23
Kran.....	23
Assistans för körning mellan uppställningsplatserna.....	23
Lastrede.....	23
Körmönster	24
Bilaga 4. Tidsåtgång per moment	26
Bilaga 5. Diskuterade förslag utan uppskattad besparing.....	27
Fler förslag till kranarbete	27
Fler förslag till assistans för körning mellan uppställningsplatserna	27
Fler förslag för lastredet	28
Teknik för högre körhastighet	29
Styrning av vagn	30
Flerträdshantering	31
Extra banke på lastredet	31
Lägre lastrede.....	32
Lång boggie på vagnen	32
Kran med kort vipparm och extra långt utskjut.....	32
Dämpning av hytt	33
Plandämpad förarstol	33
GPS-styrd automatisk körning.....	33
Specifikt anpassad kranspetsstyrning	33
Väganpassad belysning.....	33
Smidigare maskin	34
Banddrift	34
Flerpumpsystem	34
Automatisk vändning av kylfläkt för att hålla rent	34
Avverka både in och ut	34
Öppna ogallrade trakter avverkandes med skogslagring.....	35
Förutsättningar för effektiv lossning.....	35
Regionalt entreprenörskap	36
Kartunderlag baserat på laserskanning	36

Sammanfattning

Drivningskostnaderna för tvåmaskinsystemet och drivarprototypen Komatsu X19 har visat sig likvärdiga i flera studier. För att introducera en ny serietillverkad drivare på marknaden krävs dock att drivaren kan påvisa ytterligare sänkta kostnader. Vid introducerande av nya system följer det vanligtvis mer prestationsutveckling via teknik och metoder än vad det finns potential för hos etablerade system. Syftet med detta projekt 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. Workshopen ledde till flera förbättringsförslag. De förslag med potential att spara tid analyserades efter workshopen. Komatsu Forest AB bedömde kostnader för tekniska förändringar. Därefter bedömdes sparade drivningskostnader.

Av förslagen som bedömdes ge sänkta drivningskostnader återfanns följande tekniska förändringar: 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 och snabbare låsning av aggregatet som underlättar att utföra redskapsskifte vid avverkningsplatsen istället för vid avlägg. Det återfanns även en metodförändring i att den rena avverkningsplatsen tack vare direktlastning öppnar för andra körmonster. De tekniska förändringar och den metodutveckling som föreslagits bedöms ackumulerat leda till 9,4 procents tidsbesparing. Investeringskostnaden höjs ackumulerat med 0,6 Mkr. Drivningskostnaderna bedöms sänkas med ca 6,0 procent.

Förslagens effekter på tidsåtgång och drivningskostnad var av naturliga skäl svåra att bedöma, och det finns en osäkerhet i hur utfallet skulle bli i realiteten. Osäkerheten beror 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 visar på potential med möjlighet att falla ut något bättre om serietillverkade drivare införs i större skala. Den bedömningen grundas av att vi konsekvent varit försiktiga när det gäller skattningar av potentialen till de olika tidsbesparingarna.

Introduktion

Drivningskostnaderna för tvåmaskinsystemet (härefter TMS) och drivarprototypen Komatsu X19 (härefter X19) har visat sig mycket lika i flera studier. Detta gör att det inte finns motiv att lansera en serietillverkad drivare på marknaden, trots att det kan antas finnas större potential för prestationsutveckling (Jonsson m.fl. 2016, Manner m.fl. 2016a).

Vid introducerande av nya system följer det i regel mer prestationsutveckling av teknik och metoder än vad det finns potential för hos etablerade system (Björheden 1997). Drivaren har tidigare serietillverkats, men var då inte byggd för slutavverkning och antalet var inte heller i närheten av de kvantiteter som skördare och skotare tillverkades i. Studien av Manner m.fl. (2020) utgör ett tydligt exempel på potentiell prestationsutveckling, där tidsåtgången sänktes med ca fem procent vid arbete med en ny avverkningsmetod.

Syftet med arbetet som ledde till denna rapport var att kartlägga drivarens utvecklingspotential genom att samla förslag till förbättringar av arbetsmetod och teknisk utformning av drivare samt bedöma tids- och kostnadseffektivitet.

Material och metoder

Den 24:e april 2019 hölls en workshop på Skogforsk med sju av de totalt åtta förare som vid tillfället hade arbetat med X19 (en av förarna hade även arbetat med en tidigare generation drivare), en stabstjänsteman från ett skogsbolag med god praktisk erfarenhet och fem forskare. Under workshopen formulerade deltagarna idéer till tekniska och metodmässiga förändringar som kan utveckla drivaren och arbetet med densamma. Som stöd sammanfattades hur X19 är konfigurerad idag, vilka arbetsmoment som ingår i arbetet med drivare och vilka förutsättningar som påverkar arbetet. Förslagen delades upp i två kategorier för hur nära i tiden de bedömdes kunna implementeras. "Närtid" innebar förslag tillgängliga vid introducerande av en hypotetiskt serietillverkad drivare, alltså i huvudsak med teknik som är tillgänglig idag. "Visionärt" innebar förslag som bedömdes bli tillgängliga längre fram. Upplägget genomfördes i mindre grupper och samlades sedan ihop och redovisades i hela gruppen. Workshopen ledde till en uppsjö av förslag till förbättringar och avslutades med en prioriteringsövning där nio förbättringsförslag bedömdes som de mest intressanta.

De förslag med potential att spara tid analyserades efter workshopen. Huvudfokus var på systemunika förbättringar, det vill säga förbättringar som inte är tillgängliga för TMS, eller i begränsad omfattning i jämförelse med drivaren.

Utgångspunkten för analyserna är tid per moment och $m^3\text{fub}$, baserat på studieobservationer av X19, skördaren Komatsu 941 och skotaren Komatsu 895, från Manner m.fl. (2016a). Observera att tiderna är från en hierarkisk tidsstudie. Det innebär att ibland har flera moment pågått parallellt men endast det hierarkiskt överordnade momentet har noterats. Se bilaga 1 för beskrivning av momenten och deras hierarki. Drivarens tider har justerats enligt resultat från Manner m.fl. (2020) eftersom de betraktas som generellt tillgängliga, där momentet *körning mellan uppställningsplatser* (det vill säga körning simultant med övriga moment ingår ej) har höjts med 30,5 procent, *kran ut* har sänkts med 32,5 procent, *fällning* har sänkts med 6,7 procent och *intagning* har sänkts med 6,7 procent. Vi har alltså antagit att resultaten är tillämpbara för de förare som körde i studien Manner m.fl. (2016a). Momenten är onormerade med två undantag. Kvistning/kapning normerades till 0,25 $m^3\text{fub}/\text{stam}$ och enkelt terrängtransportavstånd normerades till 300 m. Denna normering gäller även tider för TMS i figur 7. Enligt Manner m.fl. (2016b) är körsträckan utan lass i genomsnitt cirka 50 procent längre än körsträcka med lass. Därför har terrängtransportavstånd multiplicerats med koefficienterna 1,2 respektive 0,8.

Kostnad för de tekniska förändringarna bedömdes av Komatsu Forest AB (härefter Komatsu) och tilläts ingå i den fortsatta analysen, då kostnadsbesparingen till följd av den höjda prestationen bedömdes vara större än den tillförda kostnaden. Vi antog att kostnaden för en förändring är lika med kundpris. Om en teknisk förändring bedömdes leda till en prestationsökning som motiverade sin ökade investeringskostnad inkluderades den i analysen (Figur 1). Eftersom kostnadsbedömningarna rör komponenter som inte finns i serietillverkning är osäkerheten stor och för att ge en trovärdig kostnadsbild har därför skattningen av hur ett kundpris kan se ut gjorts med säkerhetsmarginal. Det bedöms alltså som sannolikt att serietillverkade komponenter som högst kommer att ha presenterad kostnadsnivå.



Figur 1. Kostnadsutrymme för tekniska förändringar av drivare. Förändringar som hamnade över linjen bedömdes som lönsamma och inkluderades i analysen. Kalkylräntan var 3 procent.

Besparing av drivningskostnader har beräknats genom att räkna om tidsbesparing per moment till tidsbesparing per momentgrupp (terminaltid, körning tom, körning full), mata in bedömd tidsbesparing per momentgrupp i tidsfunktionerna i maskinkostnadskalkylen SkogforskFLIS (von Hofsten m.fl. 2005) tillsammans med kostnadsökning. Antaganden finns närmare beskrivna i Manner m.fl. (2016a) och specifika koefficienter i bilaga 2.

I avsnittet Resultat är förslagen beskrivna utifrån omfattning, situationer där de skulle vara till fördel och uppskattad tidsbesparing per moment. För de tekniska förändringarna med tidsbesparing redovisas därefter kostnadsuppskattningarna och till sist sammanställs hur drivningskostnaderna förändras med förslagen. Det är endast förslagen som betraktas som tillgängliga i "närhet" som beskrivs i resultatavsnittet. I bilaga 3 beskrivs beräkningarna bakom resultaten. I bilaga 5 redovisas förslagen som diskuterades vid workshopen men vars prestationsinverkan har bedömts som "visionär", försumbar eller ej beräkningsbar.

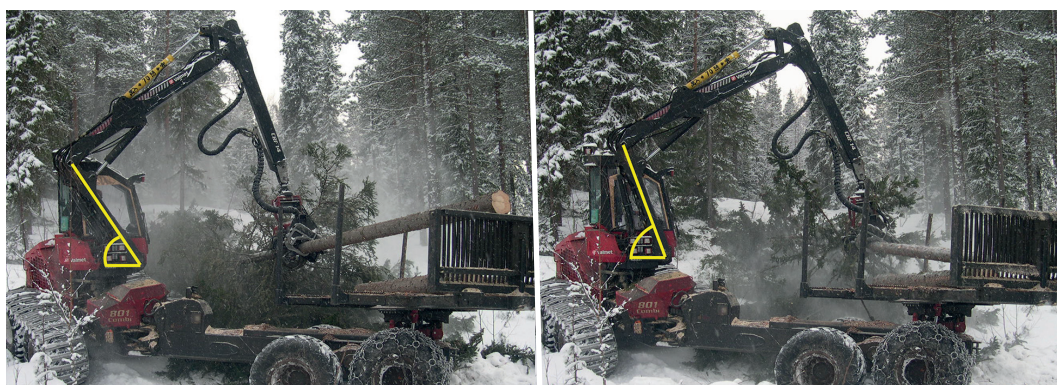
Resultat

FÖRSLAG TILL FÖRBÄTTRINGAR

Av förslagen till teknisk utveckling och metodförbättringar bedömdes fyra ge besparing av tidsåtgång, efter att korrigeringar gjorts avseende ökning av investeringskostnaden för en hypotetiskt serietillverkad drivare. Dessa fyra förslag beskrivs i detta avsnitt, och bakomliggande beräkningar finns i Bilaga 3. Förslagen som inte bedöms spara tid redovisas i Bilaga 5.

Kran

Syftet med förslaget är att reducera tidsåtgången för kranarbete. Förslaget avser geometri som på Valmet 801 Combi där ledad tiltpelare ingår, vilket också är vanligt på grävmaskiner (Figur 2). Med X19 sker avverkningsarbetet i huvudsak 2,5 meter från kranens rotationscenter eller längre bort, främst på grund av att kranens långa huvudarm gör det svårt att arbeta närmare. Med ledad tiltpelare kan avverkningsarbetet ske närmare rotationscentrumet, till hjulens kant, och krancyklerna kan därför bli något kortare. Besparingen i momenten *kran ut* och *intagning* bedöms vara 7,5 procent. Tack vare arbete närmare rotationscentrumet kan slagbredden ökas. Den ökade slagbredden ger kortare körsträcka för att få ett fullt lass och tidsbesparingen för momentet *körning mellan uppställningsplatser* bedöms till 11 procent. Dessa besparingar bedöms vara tillgängliga i närtid. En annan kran beräknas samlat leda till 2,6 procent mindre tidsåtgång i drivningsarbetet, vilket innebär att merkostnaden som högst får vara ca 440 tkr per drivare om drivningskostnaderna per volymenhet ska sänkas. Kostnaden bedöms som högst uppgå till 150 tkr. Förslaget ansågs vara ett av de nio mest intressanta enligt workshopens deltagare.



Figur 2. Valmet 801 Combi. Notera den ledade tiltpelaren. Foto: Isabelle Bergkvist.

Assistans för körning mellan uppställningsplatser

Syftet med förslagen är att reducera tidsåtgången för körning mellan uppställningsplatser under avverknings- och lastningsarbete och angränsande kranarbete. Körning mellan uppställningsplatser består i huvudsak av de två delarna att

- 1) positionera drivaren på ett rimligt avstånd från skogskanten och
- 2) köra tills nästa träd är i lämplig vinkel gentemot lastredet.

Vid körning mellan uppställningsplatser vid avverknings- och lastningsarbete är det svårt att positionera maskinen på ett lämpligt avstånd från skogskanten och en vanlig lösning är därför att rotera hytten för att få bättre sikt. Positioneringen kan underlättas av utrustning lik backkameror i moderna bilar, men här med en kamera på huven kopplad till skärm i hytten med assistans för körning till nästa uppställningsplats. I skärmen har man förslagsvis linjer som visar var maskinen hamnar, vilket föraren kan utgå från för att hålla sig utanför skogskanten (se rapportens framsida). Detta kan även kompletteras med en vy ovanifrån (i bilbranschen kallas det bland annat *birds eye view* eller *area view*), vilket kräver flera kameror som synkroniseras. Vid körning i mörker förutsätts att drivaren har god belysning i hela körområdet. Dessa hjälpmedel gör att föraren inte behöver rotera hytten vid körning till ny uppställningsplats, vilket gör det generellt enklare, möjliggör en högre medelkörhastighet och leder till fler och kortare förflyttningar.

Som stöd för vinkeln kan en laser eller annan stark ljuskälla riktad mot marken i lastredets riktning hjälpa föraren. Denna kan göra det enklare för föraren att arbeta systematiskt med få och många förflyttningar mellan uppställningsplatserna. Tack vare det tillåts en stor andel av körtiden ske under pågående kranarbete. En markering i marken av lastredets riktning kan även utgöra ett stöd för fällriktning (se rapportens framsida).

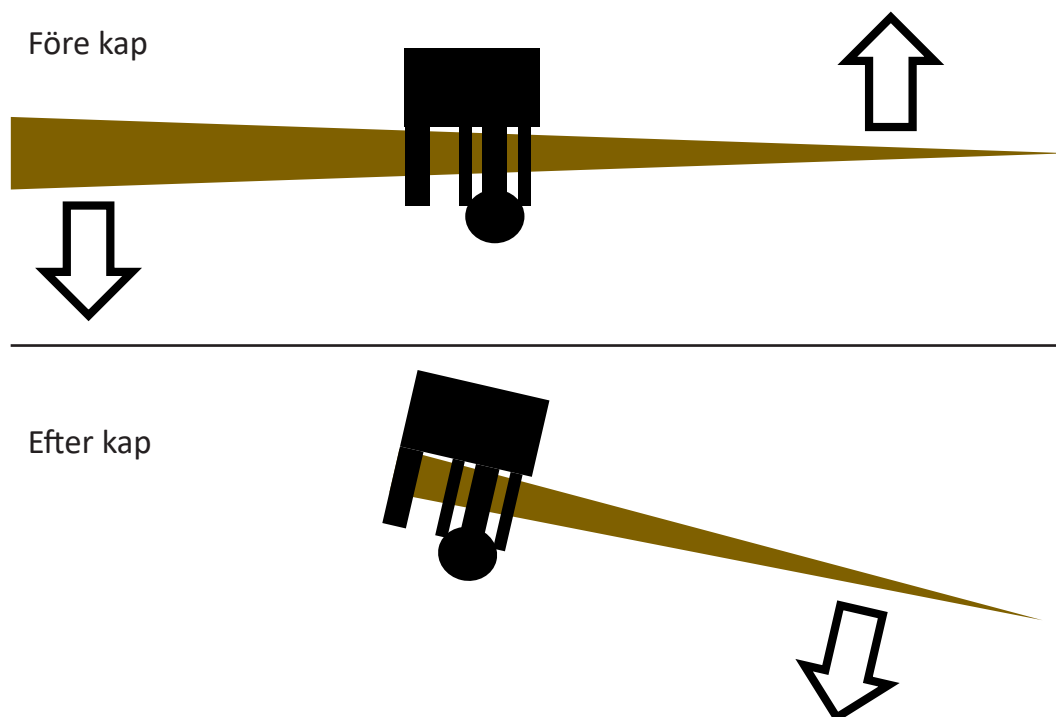
Assistans för körning mellan uppställningsplatser tillsammans med utvecklad metodik kan ge en betydande tidsbesparing, och en linje i marken kan troligen förstärka effekten. Momenten *Kran ut* och *intagning* kan öka något med beskriven metodik eftersom de sker parallellt med körning mellan uppställningsplatserna i större utsträckning. Om hänsyn tas till det bedöms en tidsbesparing för körning mellan uppställningsplatser om ca 30 procent som rimlig. Med beskrivet stöd väntas korrigering av lastredet vid första kapet, i momentet *kvistning/kapning*, behöva ske mer sällan med två procents lägre tidsåtgång i momentet som följd.

Förarstöd från backkamera, vy ovanifrån och laser som markerar lastredets riktning väntas leda till 3,7 procent mindre total tidsåtgång och får högst kosta ca 630 tkr. Komponenterna uppskattas kosta högst 200 tkr. Förslaget ansågs vara ett av de nio mest intressanta enligt workshopens deltagare.

Lastrede och tiltlås

Syftet med förslagen är att reducera tidsåtgången för upparbetning över lastbäraren (momentet *kvistning/kapning*). Vid upparbetning med X19 har förarna generellt iakttagit viss försiktighet vid matning för att inte mata in i stöttor. Här beskrivs ett föreslaget lastrede med utgångspunkten i X19:s lastrede, det vill säga tre fack med solida ytterstöttor. Det nya är att de två paren skiljestöttor är höj- och sänkbara med relativt lågt bottenläge. Inför ett nytt lass matar föraren in vilka sortiment som ska sorteras i vilket fack. Under pågående upparbetning summeras sortimentsvisa volymer per fack utifrån hpr-fil (harvester production, se Arlinger (2012)) och lassets höjd beräknas fackvis. Höjningen av stöttorna görs mellan tre förbestämda lägen, vilket följer automatiskt under upparbetningen för att stöttorna ska vara något över virkets höjd på lastredet, utifrån antagandet att all sortering sker i angivet fack. Eftersom varje skiljestötta angränsar till två fack bör stöthöjden anpassas till facket med mest virke så att virke inte rullar över i angränsande fack. Detta möjliggör matning och kapning i högre tempo jämfört med då stöttorna har full höjd.

Vid upparbetning i studier med Komatsu X19 har kapet ofta skett direkt efter att aggregatet stannat vid kapfönstret, men har dröjt när aggregatet närmat sig toppen av trädet. Den kvarvarande delen av stammen saknar då stöd från marken och balansen förändras vid kap, vilket leder till att stammen pendlar upp och ner (Figur 3). Den extra tid detta innebär kan minskas genom att tilten på aggregatet låser vid upparbetning av diametrar (exempelvis) klenare än ca 18 cm.



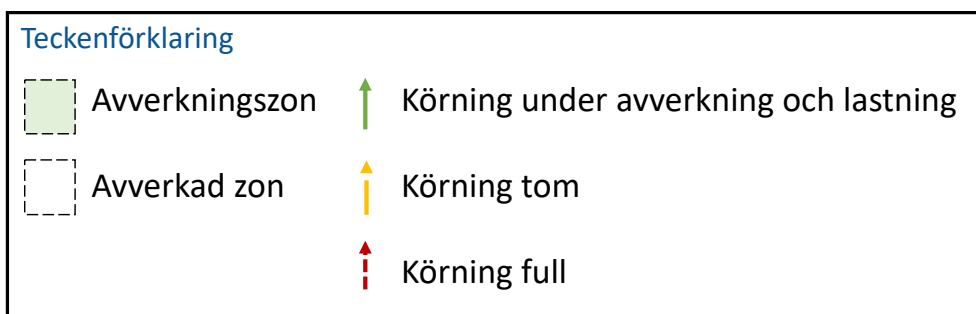
Figur 3. Trädstammens och aggregatets pendling under upparbetning av medelgrova till klena stammar. Vid utmatning av ny stock blir tyngden till vänster stor nog för att stammen ska väga över enligt övre bilden. Efter kapet ändras viktförhållandet och stammen pendlar ner enligt nedre bilden.

Tidsbesparingen för justering av skiljestöttornas höjd och tittlås bedöms till ca tio procent av *kvistning/kapning*. Detta väntas leda till 2,5 procent mindre total tidsåtgång och får kosta högst ca 430 tkr. Stöttorna beräknas kosta högst 250 tkr och låsning av tittlänken finns redan i Komatsus produktsortiment och tillför därför ingen kostnad.

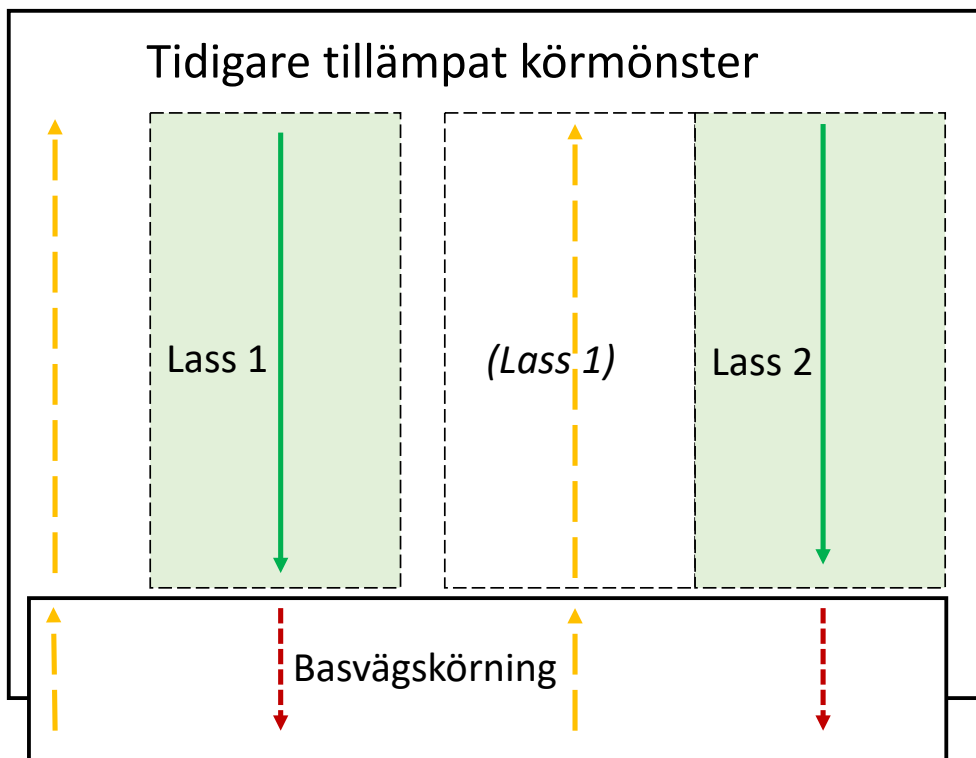
Körmönster och redskapsskifte

Syftet med förslagen är att reducera tidsåtgången vid körning mellan avverkningsplats och avlägg (momenten *körning tom* och *körning full*). Val av vägar för körning tom och full med skotare är begränsad till det vägnät som skördaren skapar vid avverkning, eftersom virke förhindrar andra vägar och de ofta risade vägarna har bättre bärighet än den bara terrängen. Då arbete med en direktlastande drivare inte lämnar något virke liggande på marken kan den närmaste vägen väljas vid körning tom och full. Denna möjlighet öppnar för andra körmönster. I tidigare fältstudier har förarna i huvudsak kört till traktens borte ände och därefter påbörjat körning tillbaka mot avlägg under avverknings- och lastningsarbete. I figur 5 och 6 visas ett nytt principiellt upplägg av körmönster där avverkning och lastning påbörjas vid den del av trakten som är närmast avlägg och

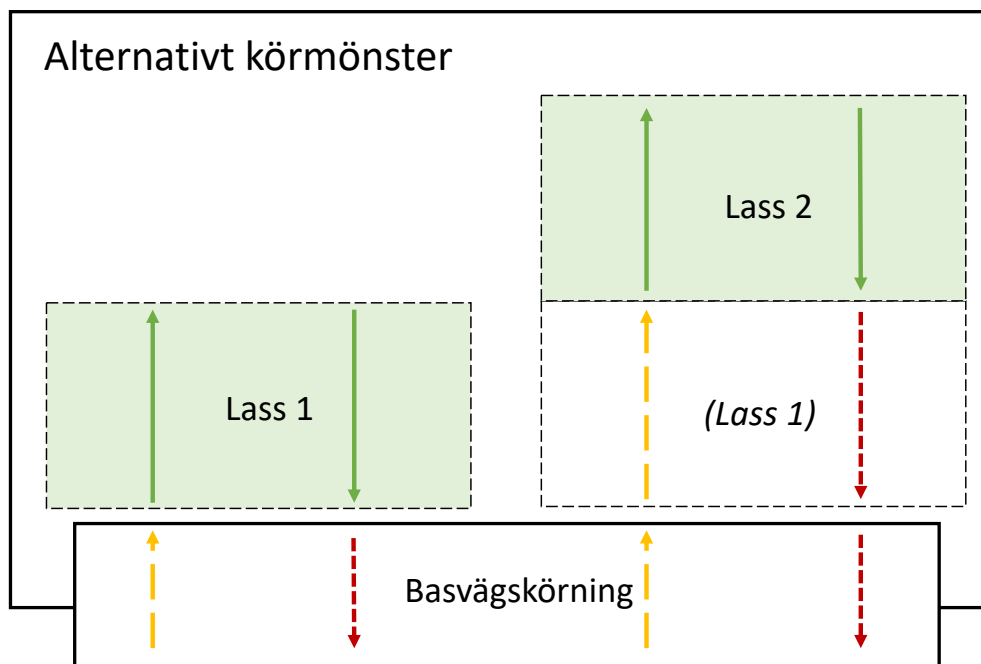
fortsätter så i riktning från avlägg. När lastredet är fyllt till hälften vänds drivaren och fortsätter i riktning mot avlägg. Med detta upplägg kan körsträckan tom och full halveras för den körning som sker inom för tillfället tillgängligt avverkningsområde. Denna fördel är framför allt tillgänglig på trakter med ca 650 m³fub eller mer, eftersom det finns färre alternativa upplägg på trakter med mindre volym. Vi har antagit ett enkelt terrängtransportavstånd om 300 meter och en körhastighet på 46 meter per minut både tom och full. Körsträckan under avverkning och lastning är identisk för båda uppläggen och analyseras därför inte. Den teoretiska besparingen av den totala körsträckan beräknas till 17 procent då även basvägskörning tom och full ingår i analysen, vilket gäller i genomsnitt per lass. Med hänsyn till variation i form på trakter uppskattas tiden för körning tom minskas med 5 procent, se bilaga 3 för beräkningar och fler antaganden. Denna metodförändring medför ingen teknisk förändring.



Figur 4. Teckenförklaring för figur 5 och 6.



Figur 5. Principiell beskrivning av upplägget med metoden som användes vid X19-fältstudierna av Jonsson m.fl. (2016) och Manner m.fl. (2016a). Avlägg i anslutning till bilväg är i nedre delen, anslutet till hygget. Se figur 4 för teckenförklaring.



Figur 6. Principiell beskrivning av upplägget med den alternativa metoden. Avlägg i anslutning till bilväg är i nedre delen, anslutet till hygget. Se figur 4 för teckenförklaring.

Under tidsstudierna av Jonsson m.fl. (2016) och Manner m.fl. (2016) skiftade förarna redskap vid avlägg, vilket innebär att körning tom och full skedde med aggregat i kranspetsen. Redskapsskifte kan ske vid eller i anslutning till avverkningsplatsen, vilket möjliggör transportarbete med grip i kranspetsen istället för aggregat. Med skotare är hastigheten normalt högre vid körning tom än full, men det har inte varit fallet för X19. En trolig anledning är att vid körning tom med aggregat i kranspetsen kan terrängens ojämnheter göra att maskinen pendlar i sidled, vilket i sin tur leder till att aggregatet pendlar ännu mer. För att undvika det väljer förarna att sänka körhastigheten. Vid körning tom med X19 kan en högre hastighet väntas om körning sker med grip i kranspetsen istället för aggregat. Snabbare låsning av aggregatets tilt kan underlätta redskapsskifte, avseende både tidsåtgång och vilka förutsättningar som krävs där skiftet sker, och bedöms följa med allmän (ej drivarspecifik) maskinteknisk utveckling. Hänsyn tas därför inte till kostnaden, och en besparing om 1 procent vid körning tom väntas.

Ett nytt körmönster tillsammans med redskapsskifte vid eller i anslutning till avverkningsplatsen bedöms leda till 1,9 procent mindre total tidsåtgång.

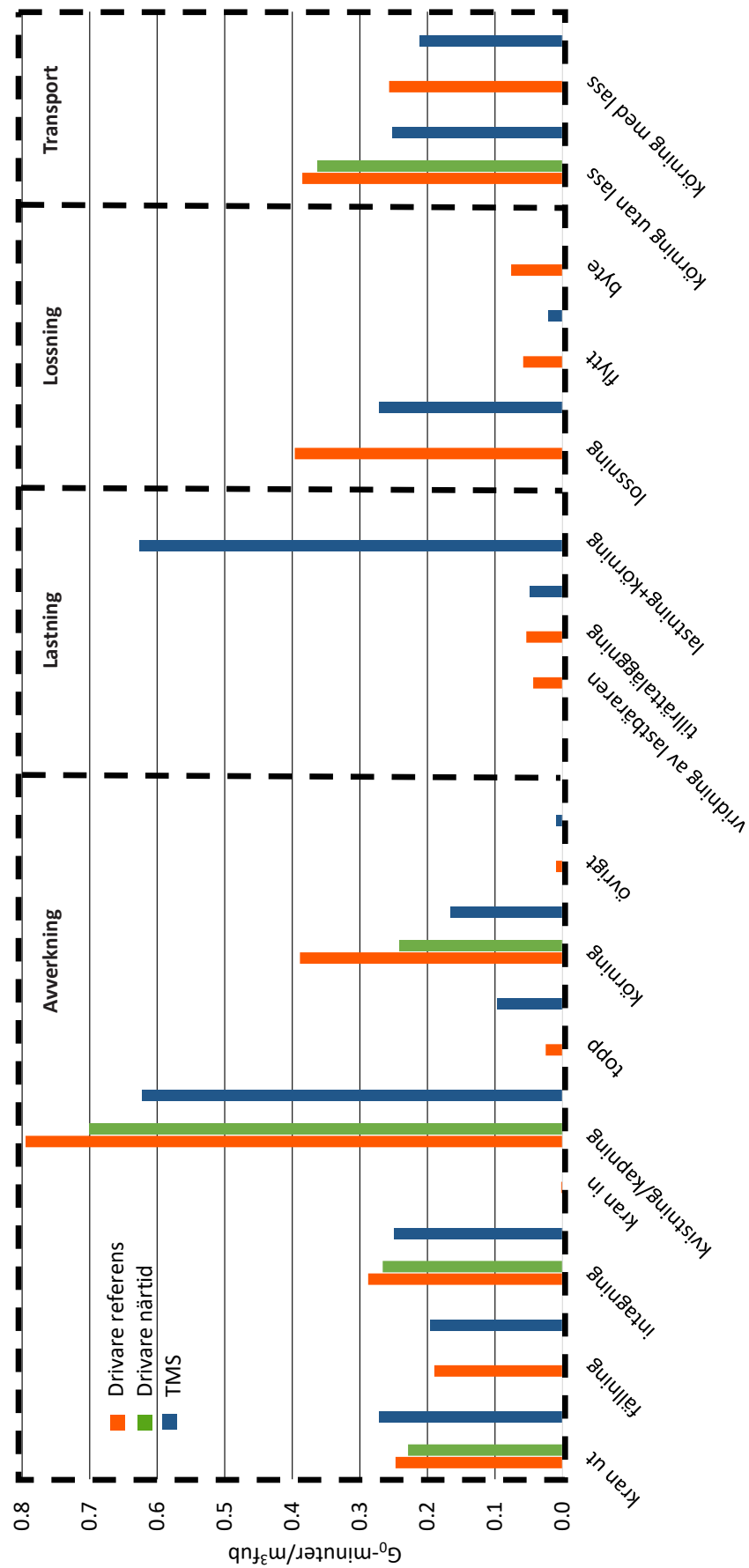
TOTAL BESPARING

De tekniska förändringar och den metodutveckling som föreslagits bedöms ackumulerat leda till 9,4 procents tidsbesparing (Tabell 1). Investeringskostnaden höjs ackumulerat med 0,6 Mkr. Drivningskostnaderna bedöms sänkas med ca 6,0 procent. Trots olika TU i norra och södra Sverige är skillnaden i drivningskostnader mellan landsdelar försumbar.

Tabell 1. Sammanfattning av de fyra förslagens effekt på tidsåtgången. Kostnadsuppskattningen avser maximal trolig kostnad enligt tillverkare i tusentals kronor.

Förslag	Kostnadsuppskattning tkr	Berörda moment	Sparad tid per moment	Sparad total tid
Assistans för körning mellan uppställningsplatser; backkamera, annan metodik	200	Kvistning och kapning Körning mellan uppställningsplatser	2 % 30 %	3,7 %
Kran med annan geometri, det vill säga ledad tiltpelare	150	Kran ut Intagning Körning	7,5 % 7,5 % 11 %	2,6 %
Lastrede; automatiskt höjbara stöttor och tiltlås vid diameter exempelvis >18 cm	250	Kvistning och kapning	10 %	2,5 %
Körmönster och redskapskifte vid avverkningsplatsen	0	Körning utan och med lass	6 %	0,7 %
Total besparing				9,4 %

Figur 7. Tidsåtgång per moment och maskinsystem uppdelat i momentgrupperna avverkning, lastning, lossning och transport. "Drivare referens" och "TMS" är hämtade från Manner m.fl. (2016a) och Manner m.fl. (2020), se Material och metoder för beskrivning. "Drivare närtid" är "Drivare referens" justerad med uppskattad tidsbesparing. Momentet "lastning+körning" innehåller skotarens moment som krävs för att fylla lasset (kran ut, gripa, sammanföring, kran in, jämndragning, släppa och tillrättläggning).



Diskussion

Deltagarna vid workshopen kom med många förslag, främst kring tekniska förändringar. Av dessa har assistans för körning mellan uppställningsplatserna, annan kran, annat lastrede, förändrat körmönster och redskapsskifte vid avverkningsplatsen bedömts ha störst potential att sänka tidsåtgången och drivningskostnaderna. Förslagets effekter på tidsåtgång och drivningskostnad var svåra att bedöma och det finns en osäkerhet i hur utfallet skulle bli i realiteten. Osäkerheten beror 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. En annan orsak till osäkerheten är att tidsbesparingarna bedömts utifrån hierarkiska tidsstudier, det vill säga studier där endast ett moment noteras åt gången. Besparingarnas inverkan på totala tidsåtgången kan därför variera. I samband med workshopen hade totalt åtta förare testkört X19 under en period om ca tre månader eller mer, och av dessa deltog sju i workshopen. Vi lär alltså ha fångat väldigt mycket av de förbättringsförslag som grundar sig i praktisk erfarenhet av systemet, även om det inte är i närheten av tusentals förares bidrag till utvecklingen av TMS under 3–4 decenniers tid.

Utgångspunkten har varit tidsåtgång med den nya metoden, det vill säga positionering av drivaren utanför skogskanten. En utvecklad kran har troligen effekt även på tidsåtgång för den gamla metoden, men lär vara störst med den nya metoden eftersom man då i större utsträckning arbetar nära maskinen. Vid bedömning av potential i assistans för *körning mellan uppställningsplatser* och många och korta förflyttningar bedöms att en betydande andel av tiden kan ske parallellt med olika kranmoment. Detta gäller framför allt *kran ut*, och trots att *kran ut* kan kräva något mer tid på grund av olika simultankapacitet hos förare lär redovisad tidsbesparing vara försiktigt bedömd i och med att körningen bedöms bli tydligt enklare med förarstödet och en mer systematisk metod. Det bör gynna förare från hela spannet av prestationsnivåer, skickliga förare med stark utvecklingsvilja och genomsnittliga förare vars tröskel för att bli en lönsam drivarförare sänks.

Med alternativa körmönster tros tidsåtgången för körning tom och full minska och sannolikt minskar även basvägskörning på trakten. Hur stor minskning som kan väntas är dock svårbedömt eftersom vi saknar ett tydligt underlag för hur det sett ut i fältstudierna som utgör referensnivån, samt att optimalt mönster heller inte är bedömt. Vi har därför bortsett från potentialen, men det är intressant för framtida studier.

Med fokus på förbättringar i närtid väntas drivaren ha fördel i jämförelse med TMS. TMS lär utvecklas i närtid, med exempelvis förbättrad hydraulik och teknisk utformning – men sådana förbättringar kommer även att gagna en eventuell serietillverkad drivare och bör därför inte förändra kalkylen. Visionära förbättringar bör bedömas med försiktighet då osäkerhet kring förbättringspotential även finns för TMS. Detta gäller exempelvis automation, där den starkt tilltagande automationsgraden i flera branscher – och även skogsbranschen – sannolikt kommer båda systemen till gagn. Då drivaren direktlastar undviks problemet med att identifiera stockarna spatialt senare – som med TMS – och det tros därför vara realistiskt att automatisera i snabbare takt än upparbetning på marken och efterföljande lastning.

I analyserna har både utgångspunkten för beräkningarna och förbättringspotential gällt för de skickliga testförarna som deltagit i studierna. När vi bedömt det som relevant har vi dock justerat våra beräkningar med hänsyn till att motsvara ett kollektiv av förare och tidsbesparingarna bör alltså vara generellt tillgängliga. Vid bedömningar av potentiell tidsbesparing har vi eftersträvat viss underskattning av tidsbesparingar och viss överskattning av investeringskostnad när vi saknat underlag för säkra bedömningar, det samma har gällt för Komatsus bedömningar av hypotetiska kostnader för de tekniska förändringarna. Sammantaget betraktas det som sannolikt att rapportens resultat visar på potential med möjlighet att falla ut något bättre om serietillverkade drivare införs i större skala.

Referenser

- Björheden, R. 1997. Studies of Large Scale Forest Fuel Supply Systems. Doctoral thesis. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae/Silvestria 31.
- Björheden, R. 2018. Rutting and vibration levels of the On Track concept forwarder on standardised test track. Skogforsk, Arbetsrapport nr. 989.
- Brunberg, T. 2017. Produktivitet vid drivning 2008-2016. Skogforsk nr. 67.
- von Hofsten, H., Lundström, H., Nordén, B. & Thor, M. 2005. System för uttag av skogsbränsle. Skogforsk, Arbetsrapport nr. 597.
- Jonsson, R. Jönsson, P. & Lundström, H. 2016. Prestation och kostnader för slutavverkningsdrivare Komatsu X19 med snabbfäste. Skogforsk, Arbetsrapport 911.
- Manner, J., Englund, M., Mörk, A., Lundström, H. & Jonsson, R. 2019. Utveckling och utvärdering av automation för drivare – jämförande studier i maskinsimulator. Skogforsk, Arbetsrapport nr. 1028.
- Manner, J., Jonsson, R., Jönsson, P., Björheden, R., & Lundström, H. 2016a. 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 – En fältstudie med drivarprototypen Komatsu X19. Skogforsk, Arbetsrapport nr. 1044.
- Manner, J., Palmroth, L., Nordfjell, T., & Lindroos, O. 2016b. Load level forwarding work element analysis based on automatic follow-up data. Silva Fennica, 50(3), 1-19.
- Palander, T. 2018. Puunhankinnan johtamisen perusteet. (Grunder i virkesförsörjning). University of Eastern Finland, Faculty of Science and Forestry, School of Forest Sciences. Läromaterial, stencil. 116 s. (På finska)

INTERNET

- Fallaskog (2019). <https://www.fallaskog.se/om-fallaskog/> [2019-08-30]
- Rottne (2019). <https://www.rottne.com/skogsmaskin/rottne-f-13s/?media#> [2019-08-30]
- Eco Log (2019). Eco Log Low Ground Pressure - ELGP Forestry Logging. Eco Log:s officiella Youtube-kanal. <https://www.youtube.com/watch?v=NZrcXiYlqUk> [2020-07-27]

Bilaga 1. Momentbeskrivning

Vid datainsamlingen under studierna Manner m.fl. (2016a; 2020) tillämpades prioritering, det vill säga hierarkisk uppdelning av momenten. Detta innebär att endast ett moment noteras åt gången. Av dessa har arbete med kranen högst prioritet, därefter manövrering av lastredet och därefter körning.

Moment	Maskin	Beskrivning
Avverkningsarbete		
Kran ut	Drivare, skördare	Från att topp släpps till att aggregat är 0,5 meter från avverkningsstam.
Fällning	Drivare, skördare	Slutar när avverkningsstammen lättar från stubben.
Intagning	Drivare, skördare	Slutar när aggregatet börjar mata stammen.
Kvistning/ kapning	Drivare, skördare	Slutar när sista virkesbiten kapas.
Topp	Drivare, skördare	Tiden från att toppen kapas tills att aggregatet släpper toppen. Om föraren släpper toppen direkt efter kapet noteras ofta kran in eller kran ut beroende av vad nästa steg är.
Kran in	Skördare	Slutar när kranen passerar framför maskinen.
Körning	Drivare, skördare	Börjar när hjulen börjar snurra inför flytt till ny uppställningsplats och slutar när hjulen stannar.
Vridning av lastrede	Drivare	Börjar när lastredet börjar röra sig och slutar då lastredet stannar.
Körning till/från	Skördare	Börjar när hjulen börjar snurra inför transportsträcka mellan avverkningsplats och koja, slutar när hjulen stannar.
Skotningsarbete		
Kran ut	Skotare	Från att grip släppt virke tills gripen vidrör virke på marken.
Gripa	Skotare	Slutar när gripen lyfts med virke i gripen.
Sammanföring	Skotare	Från att grip vidrör virke tills grip lyfts med virke i gripen.
Kran in	Skotare	Slutar när gripen är mitt över lassets.
Jämndragning	Skotare	Jämndragning av virket mot grinden under lastning
Släppa	Skotare	Slutar när virkesknippe släppts.
Tillrättaläggning	Drivare, skotare	Justering av virke på lastredet.
Tomkörning	Drivare, skotare	Körning från avlägg till lastningsplats.
Körning under lastning	Skotare	Körning under pågående lastning. Från att hjulen börjar snurra tills de slutar snurra vid nästa uppställningsplats.
Körning full	Drivare, skotare	Körning från lastningsplats med fullt lass till avlägg.
Av grip	Drivare	Från att maskinen saktar in inför redskapsskifte tills gripen lossats från kranspetsen.
På aggregat	Drivare	Slutar när maskinen återupptar körning mot avverkningsplats med aggregatet monterat.
Av aggregat	Drivare	Från att maskinen saktar in inför redskapsskifte tills aggregatet lossats från kranspetsen.
På grip	Drivare	Slutar när maskinen återupptar körning mot avlägg med gripen monterad.
Avlastning	Drivare, skotare	Från att gripen flyttas mot lastredet inför första krancykeln i lossningen tills gripen återgår efter lossningens sista krancykel inför transport mot avverknings-/ lastningsplats.
Flytt	Drivare, skotare	Körning vid avlägg. Från att hjulen börjar snurra tills de slutar snurra vid nästa uppställningsplats.
Gemensamma moment		
Övrig G ₀	Drivare, skördare, skotare	Övrigt arbete som är nödvändigt för drivningen, exempelvis risning av stickväg.

Bilaga 2. Koefficienter i maskinkostnadskalkyl

Drivaren Komatsu X19 med snabbfäste, 365-aggregat och 0,36 m²-grip benämns X19, Komatsu 931 med 370-aggregat benämns 931 och Komatsu 895 benämns 895.

- Drivargruppen avser diskussioner inom gruppen som lett till samlat medelvärde eller uppskattning om rimligt värde.
- Norm avser genomsnittliga värden för norra eller södra Sverige, enligt Brunberg (2017).
- Studie avser medelvärde från Manner m.fl. (2016a).
- Komatsu avser hypotetiska kalkylvärden, särskilt för X19 där slutgiltiga kostnader inte kan fastställas förrän seriemässig produkt är under framtagning.
- SCA Skog AB avser värden som används i företagets kostnadsuppskattningar.
- Holmen Skog AB avser värden som används i företagets kostnadsuppskattningar.
- Entreprenör avser värden baserade på uppskattningar från entreprenör som utför drivningstjänster för någon av organisationerna i Drivargruppen.
- Stibor 90 avser referensränta för ett genomsnitt av pengar som svenska storbanker är beredda att låna till varandra under en given tid.
- SLA-GS avser värden enligt facklig överenskommelse mellan just SLA och GS-facken.

Koefficient	Värde	Ursprung
Bestånds- och maskinförutsättningar		
Traktstorlek, m ³ fub/år	1 000	Drivargruppen
Enkelt terrängtransportavstånd, meter	300	Norm
Medelstamvolym, m ³ fub	0,25	Norm
Antal sortiment/objekt	5	Studie
Ytstruktur	2	Studie
Lutning	1	Studie
Laststorlek 895, m ³ fub/lass	21,6	Studie
Maskinutnyttjande		
TU X19 norra Sverige, procent	90	Drivargruppen
TU 931 norra Sverige, procent	90	Norm norra Sverige
TU 895 norra Sverige, procent	92	Norm norra Sverige
TU X19 södra Sverige, procent	83	Drivargruppen
TU 931 södra Sverige, procent	83	Norm södra Sverige
TU 895 södra Sverige, procent	86	Norm södra Sverige
Ställtid vid flytt, G ₁₅ -h/flytt	1	Holmen Skog AB och entreprenör

Koefficient	Värde	Ursprung
Fasta maskinkostnader		
Investeringskostnad referens, X19	6 687 000	Komatsu
Investeringskostnad, 931	4 927 000	Komatsu
Investeringskostnad, 895	3 987 000	Komatsu
Ekonomisk livslängd, G ₁₅ -timmar	15 000	Drivargruppen
Restvärde på hela investeringen för X19 och 931, procent	20	Komatsu
Restvärde på hela investeringen för 895, procent	10	Komatsu
Försäkring, X19, kr/år	25 000	SCA Skog AB
Försäkring, 931, kr/år	25 000	SCA Skog AB
Försäkring, 895, kr/år	16 000	SCA Skog AB
Övriga fasta kostnader, X19 (omfattar kostnaden för 1 vagn)	70 000	Drivargruppen
Övriga fasta kostnader, TMS (omfattar kostnaden för 1,5 vagn)	105 000	Drivargruppen
Rörliga maskinkostnader		
Flyttkostnad (trailerkostnad) för X19, kr/flytt	5 701	Holmen Skog AB och entreprenör
Flyttkostnad (trailerkostnad) för 931 och 895, kr/flytt	5 414	Holmen Skog AB och entreprenör
Dieselförbrukning X19, liter/G ₁₅ -h	17	Drivargruppen
Dieselförbrukning 931, liter/G ₁₅ -h	17	Komatsu
Dieselförbrukning 895, liter/G ₁₅ -h	17	Komatsu
Oljeförbrukning X19, liter/G ₁₅ -h	0,7	Komatsu
Oljeförbrukning 931, liter/G ₁₅ -h	0,75	Komatsu
Oljeförbrukning 895, liter/G ₁₅ -h	0,4	Komatsu
Rep och underhåll X19, kr/G ₁₅ -h	190	Drivargruppen
Rep och underhåll 931, kr/G ₁₅ -h	200	Drivargruppen
Rep och underhåll 895, kr/G ₁₅ -h	160	Drivargruppen
Globala värden		
Ränta, Stibor 90 + 3 procent, procent	2,99	Stibor 90
Dieselpri exklusive moms, kr/liter	9,51	Holmen Skog AB
Smörj- och hydraulolja, kr/liter	30	Holmen Skog AB
Personalkostnader		
Grundlön (inklusive kvalificerade tillägg och semesterlön), kr/Utnyttjad timme (kr/U-h)	160	Drivargruppen
Sociala påslag (lagstadgade påslag, sjuklön, annan semestergrundande frånvaro, arbetstidskonto), procent	50	Drivargruppen
Utnyttjade dagar/år, antal	205	Drivargruppen
Skift per dygn, antal	2	Drivargruppen
U-h/skift	7,6	SLA-GS
Tillgänglig U-h utanför obekvämt arbetstid, U-h/dygn	10,5	SLA-GS
Ob-ersättning, kr/U-h	34,68	SLA-GS
Övertidsersättning, kr/U-h	43,52	SLA-GS
Enkel färdsträcka/anställd/dag, km	35	Drivargruppen
Resersättning, kr/km	3	Drivargruppen

Bilaga 3. Beräkningar bakom förslagen

KRAN

I dagsläget sker avverkningsarbetet i huvudsak inom 2,5–8,7 meter av kranens räckvidd. Att det inte är närmare beror dels på att kranens rotationscentrum är i mitten av traktordelen och dels på att kranens långa huvudarm gör det besvärligt att arbeta närmare. Att arbete sällan sker längre bort än 8,7 meter, med nuvarande räckvidd på kranen om 9,7 meter beror på en effektivitetsförlust nära maximal räckvidd där kranen har försämrad lyftkraft och precision. Med förbättrad geometri i en ny kran möjliggörs arbete närmare maskinen, och det minimala arbetsavståndet kan reduceras till ca 1,8 meter från rotationscentrum. Det minimala avståndet avgörs då alltså av distansen mellan rotationscentrum och ytterkanten av traktordelens band och inte längre av krangeometrin. Denna ökning av slagbredden på 0,7 meter kommer att medföra kortad körsträcka för att fylla ett lass, om uppskattningsvis 11 procent, vilket kan likställas med tidsbesparing.

$$\text{Ökning (\%)} \text{ av slagbredd med ny kran} = \frac{AR_{min}^{bk} - AR_{min}^{nk}}{S^{bk}} \quad (1)$$

Där:

AR_{min}^{bk} = Minimalt arbetsavstånd (m) från kranens rotationscentrum till träd, med befintlig kran

AR_{min}^{nk} = Minimalt arbetsavstånd (m) från kranens rotationscentrum till träd, med ny kran

S^{bk} = Slagbredd (m) med befintlig kran

Kranen på X19 är tillverkad för skördarmodellen Komatsu 941, och en typisk avverkningscykel är därför i marknivå eller strax över. En typisk cykel för en drivare skiftar däremot mellan marknivå och upparbetning över lastredet, kranen måste alltså fungera väl även några meter över marken och nära rotationscentrum, vilket kranen inte är anpassad för. När kranen har drivaranpassad geometri kan cyklerna i avverknings- och lastningsarbete flyta mer energieffektivt och snabbare. 5–10 procents tidsbesparing i momenten kran ut och intagning bedöms som rimligt och besparingen antas vara 7,5 procent.

ASSISTANS FÖR KÖRNING MELLAN UPPSTÄLLNINGSPLATSERNA

Uppskattad tidsbesparing baseras på bedömningar utifrån observationer av drivaren i samband med fältstudier, och detaljerade ekvationer saknas därför.

LASTREDE

Tidsåtgången för *kvistning/kapning* var i genomsnitt 0,622 minuter per m³fub för skördare och 0,795 för drivare i referensstudien. Skillnaden är alltså 0,173 minuter per m³fub. Tiltlåset ger endast tidsbesparing vid kap av klena stockar och stockarna behöver ligga fint i lasset, varför det inte bedöms realistiskt att minska tiden motsvarande hela skillnaden. En skördare behöver inte vara lika noggrann. Då matning kan ske i högre hastighet med anpassad stöthöjd och tiltlås vid klena diametrar bedöms skillnaden halveras, vilket ger X19 tio procents tidsbesparing i momentet *kvistning/kapning*.

KÖRMÖNSTER

Vid jämförelsen mellan körmonster tillämpat vid studien av Manner m.fl. (2016a) och alternativt körmonster antas:

- 1) Basvägskörning är 100 meter oavsett körmonster.
- 2) Körhastigheten är 45,6 meter/minut för både tom och full oavsett mönster.
- 3) Avståndet mellan avlägg och traktens bakkant är 100 meter, vilket också är sträckan som krävs för att få fullt lastrede.

Körning tom och full är uppdelat trots samma körhastighet för att möjliggöra egna justeringar av siffrorna för läsare. Lastkörningssträcka utgår från analysen eftersom den är identisk mellan mönstren. I samband med att lastredet är halvfullt behöver drivaren antingen vändas eller, om avverknings- och lastningsarbete sker bakåt på väg från avlägg, räcker det med att ompositionera drivaren då arbetet fortsätter men i riktning mot avlägg. Oavsett lösning medförs en tidsökning om uppskattningsvis 0,5 minuter per lass. Med dessa antaganden beräknas den teoretiska besparingen av körsträckan i zon vara 27 procent, och av den totala körtiden 9 procent. Med hänsyn till outnyttjad potential på grund av varierande ytstruktur, lutning, arrondering eller att sortimentsfördelningen ibland motiverar annan körmetodik antas 5 av dessa 17 procent vara tillgängliga under genomsnittliga förutsättningar (Tabell 1). Dessa antaganden ger ett enkelt terräng-transportavstånd om 300 meter för den tidigare studerade metoden, men 50 meter kortare för den alternativa metoden – med identiska bestandsförutsättningar. Besparingspotentialen är som störst med kort basvägssträcka, det vill säga vid förutsättningar där drivaren har lättare att konkurrera med TMS.

Tabell 1. Tidsåtgång för total körtid i G₁₅-minuter per lass.

Tidigare studerat körmonster	Alternativt körmonster	
2,19	1,1	Körning i avverkningszon
	0,5	Vändning eller ompositionering
4,39	4,39	Körning på basväg
6,58	5,98	Total tid

Körning under lastning är svår att påverka och utgör generellt en större andel av körningen på en trakt med lite volym än på en trakt med mycket volym. Detta gör att potentialen att spara körsträcka är större på trakter med mycket volym. För att nyttja det alternativa körmönstret krävs att traktens arrondering och virkeskoncentrationen möjliggör att fylla ett lass om man avverkar under direktlastning och kör halvvägs och därefter vänder tillbaka till avlägg. Om vi antar att en trakt är kvadratisk, virkeskoncentrationen 300 m³fub per hektar, laststorleken 20,5 m³fub och slagbredden 6,2 meter motsvarar det 1,2 hektar och en total virkesvolym om 364 m³fub.

Lägsta möjliga areal (hektar)

$$= (Laststorlek / Slagbredd * \frac{Virkeskoncentration}{10\ 000})^2 / 10\ 000 \quad (2)$$

Där

Laststorlek = lastredets volym (m³fub)

Slagbredd anges i meter. Virkeskoncentration anges i m³fub/ha.

Eftersom trakter oftast har en annan arrondering och ojämn volymfördelning lär det krävas större trakter för att nyttja potentialen och som tumregel kan ett påslag om 50 procent, det vill säga en total volym på 550 m³fub vara en rimlig utgångspunkt.

Bilaga 4. Tidsåtgång per moment

Tider per moment för drivaren i G₀-minuter enligt referens och scenariot "närtid". När tid i kolumnen "Ny tid" saknas gäller tiden i kolumnen "Referenstid". Tider per moment är framtagna enligt beskrivning i Material och metoder på sida 6.

Moment	Referenstid	Besparing	Ny tid
Kran ut	0,247	7,5 %	0,229
Fällning	0,190	-	0,190
Intagning	0,288	7,5 %	0,266
Kvistning/kapning	0,795	10 %, 2 %	0,701 ¹⁾
Topp	0,025	-	0,025
Körning mellan uppställningsplatser	0,389	30 %, 11 %	0,242 ²⁾
Övrigt	0,010	-	0,010
Vridning av lastredet	0,043	-	0,043
Tillrättaläggning och justering	0,054	-	0,054
Lossning	0,396	-	0,396
Körning under lossning	0,058	-	0,058
Byte	0,076	-	0,076
Körning utan lass	0,385	6%	0,362
Körning med lass	0,257	-	0,257
Totalt	3,212	9,4 %	2,909

¹⁾ 0,701 = 0,795*0,9*0,98

²⁾ 0,242 = 0,389*0,7*0,89

Bilaga 5. Diskuterade förslag utan uppskattad besparing

FLER FÖRSLAG TILL KRANARBETE

Flera förare har upplevt att kraften inte räckt till vid grova och tunga träd och starkare kransväng och hyttilt föreslås därför.

En ny kran skulle bland annat vara fördelaktigt vid arbete i brant terräng, där man idag i huvudsak kör uppför. Detta eftersom man då får lastredet i en gynnsam position där intagningen görs genom en kranrörelse nedåt och man även har god överblick över lasset för positionering av aggregatet under upparbetning för att få stockarna fint i lasset. Vid körning nedför i brant terräng blir det besvärligt att få upp fällda stammar till lastredet och överblicken är sämre. Med en ny, starkare kran med mer flexibel geometri lär arbete kunna utföras under körning uppför. Denna aspekt har dock inte varit problematisk i tidsstudierna och en tidsjustering är inte aktuell.

Den nya kranens extra led, ofta kallad tiltpelaren, möjliggör bättre sikt vilket kan förbättra möjligheterna att rakt följa slaget, vilket i sin tur kan leda till marginellt kortad körsträcka för att fylla ett lass. Tidsbesparingen för detta är förmodligen försumbar och har inte beräknats.

Bominfästning mitt över hytten skulle ge fri sikt på både höger och vänster sida, vilket tros leda till mer flexibelt arbete. Tidsbesparingen är dock svår att beräkna och eventuell tidsbesparing är därför inte bedömd.

Krangeometrin skulle möjliggöra arbete närmare maskinen. Redskapsskifte med X19 sker på uppskattningsvis halva räckvidden på grund av den långa huvudarmen. Med en ny kran kan skiftet ske närmare maskinen vilket ger bättre överblick, högre precision och därmed sannolikt färre misstag och snabbare inläring för nya förare. Studerade förare har dock haft god vana av skifte, trots avståndet och det är därför inte aktuellt med justering av tidsåtgång.

FLER FÖRSLAG TILL ASSISTANS FÖR KÖRNING MELLAN UPPSTÄLLNINGSPLATSERNA

För att kunna optimera arbetsmetoden är en enkel och snabb variation av framflyttningshastigheten värdefull. Ett sätt kan vara genom att justera hydrostatpumpens vinkel med hjälp av en ratt eller potentiometer.

Med sensorer som mäter avstånd till träden kan drivarens position i relation till skogs-kanten och lastredets läge gentemot nästa träd beräknas och körningen automatiseras (visionärt). Detta möjliggör kranarbete vid förflyttningar till nya uppställningsplatser, vilket lär ge en större tidsbesparing.

En skotares körning mellan uppställningsplatser kan automatiseras med information från sammanlänkning mellan skördarens produktionsdata (inklusive koordinater för virkeshögarna) och skotarens position, men det bedöms vara svårare än motsvarande för drivaren. Detta eftersom informationen som krävs för drivarens förflyttning är enklare att inhämta och bearbeta.

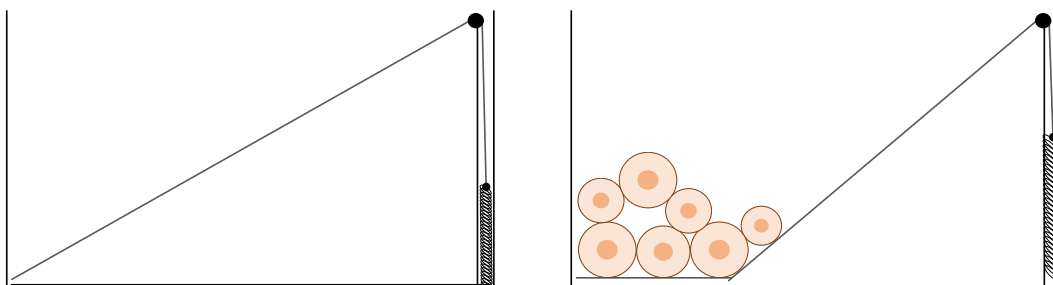
FLER FÖRSLAG FÖR LASTREDET

Stöttorna kan vara ledade för att lättare klara av att stock matas in i stötta. De kan också vara vikbara eller hydrauliska.

En automatisk justering av skiljestöttornas höjd kan istället för kring tre förbestämda lägen ske kontinuerligt. Förslaget utgår från information från förarinmatning, men kan istället ske genom:

- 1) Volym från virke som kapas över ett fack summeras utifrån information från hpr-fil. Detta utgår från att detaljerad information om var aggregatet och lastredet befinner sig finns tillgänglig.
- 2) Likt förslag 1 nyttjas information från kranspetsstyrning, men under automatiserad upparbetning där aggregatet placerar sig mitt över facket som den aktuella stocken ska sorteras i. Detta kombineras med automatisk tiltning och rotation av lastredet och funktion för styrning av kapade stockar till mitten av facket.

Styrning kan ske med gummiband enligt figur 1, vajer med sträckningsmekanism likt lösning med gummiband eller fjädrande sidor på stöttorna. Dessa lösningar kan även minska tiden vid lossning om de sista stockarna lyfts något och därmed blir enklare att greppa. Som alternativ till sträckningsmekanism eller fjädrande stöttor kan en rundning av ytan i lastredets botten bidra till att stockarna hamnar rakt i respektive fack. Förslagen kan bidra till att lasset därmed byggs mer symmetriskt. Højning av stöttorna kan ske adaptivt för båda dessa förslag. Utvecklingen av lastredet sker lämpligen stegvis, först utifrån beskrivningen i rapportens resultatavsnitt, därefter ovan beskrivning 1 och till sist 2. Alternativ 2, tillsammans med automatisk upparbetning, kommer att medföra en påtagligt större tidsbesparing.



Figur 1. Bilderna illustrerar ett enskilt fack med stöttorna i bottenläge där exempelvis vajrar är sträckta mellan stöttornas högsta bottenläge och botten av facket. Till vänster är facket tomt med sträckta vajrar och till höger har facket några stockar samlade till vänster.

Vid terrängkörning med många hinder finns det risk att boggien tar i lastredet vid körning mellan uppställningsplatser och lastredet bör därför nivelleras automatiskt. Effekten av detta syns inte i tidsstudierna och tids- och kostnadsbesparing har därför inte beräknats. Autonivellering av lastredet lär vara särskilt gynnsamt för nya förare.

Med automatisk nivellering och rotation av lastredet under upparbetning kan tid sparas och förarens mentala belastning minska. Effekterna av automatisk rotation av lastredet berörs djupare av Manner m.fl. (2019). Breddning av lastredet kan vara fördelaktigt vid öppnande av traktens första väg eller en basväg. Detta kan ske mekaniskt som med Komatus lösning LoadFlex vilken är relativt billig, eller hydrauliskt vilket är dyrare, men minskar ställtid för ändring av lastredets utformning. Inverkan på tidsåtgång eller kostnader har inte beräknats.

X19:s lastrede är i ett fast läge i längsled. Vid upparbetning är det fördelaktigt att ha lastredet längre bort för god överblick och effektivt kranarbete. Vid körning tom och full är det istället fördelaktigt att ha lastredet låst i ett läge närmare midjan vilket ger bättre vikt-fördelning. Det kan lösas med ett lastrede som är skjutbart i längsled, där ändring mellan två lägen sker med en knapptryckning. Lösningen möjliggör också en kortare basmaskin. Detta bedöms inte ge någon tidsbesparing, men kan minska marktrycket och därmed risken för spårbildning.

Ytterligare alternativ utformning av lastrede är vikbara ytterstöttor (V-form) som Bestens kurir. Låg tyngdpunkt är önskvärt och all lastarea bör därför nyttjas, särskilt den lägre – varför raka stöttor bedöms som mer intressanta än v-formade stöttor.

TEKNIK FÖR HÖGRE KÖRHASTIGHET

Om körning tom och full görs med grip i kranspetsen kan ett nosfäste öppna för att gripen vilar där och minskar pendling vid körning över terrängens ojämnheter. Detta lär leda till ökad körhastighet vid körning tom. Om föraren lämnar gripen i nosfästet och kör med aggregat i kranspetsen kan avverkning ske mot nytt avlägg inom samma trakt, vilket annars skulle kräva separat flytt av redskap.

Hastigheten bedöms kunna öka med två procent vid körning tom, vilket är likställt med två procents tidsbesparing. Nosfäste för grip och snabbare låsning av aggregatets tilt-cylindrar väntas leda till 0,25 procents tidsbesparing och får högst kosta 38 tkr. Fästet uppskattas kosta högst 40 tkr och exkluderas därför ur analysen. Det ansågs dock vara ett av de nio mest intressanta enligt workshopens deltagare.

Detta omfattar snabbare låsning av tiltcylindrar i aggregatet vilket förenklar redskaps-skifte vid avverkningsplatsen och tillsammans med gripfäste i nosen ger ökad flexibilitet. Gripen kan vila i fästet, antingen kopplad i kranspetsen eller fritt, vilket möjliggör att ha aggregatet i kranspetsen. Vid körning med gripen i fästet krävs anpassning av hytt-nivelleringen eller ett flexibelt fäste, eftersom hytten anpassar sig efter lutning under körning. Det är möjligt att låsa aggregatets tiltcylindrar på X19 i samband med redskapsskiftet, men det tar för lång tid. Med snabbare låsning kan redskapsskiftena ske säkrare och även vertikalt. Detta öppnar för enklare skifte vid avverkningsplatsen. Att låsning av tiltcylindrar lär ge enklare och säkrare redskapsskifte ansågs vara ett av de nio mest intressanta förslagen enligt workshopens deltagare.

Detta kan nyttjas vid

- 1) korta flyttar mellan olika avlägg inom samma trakt,
- 2) korta flyttar mellan olika trakter,
- 3) körning tom och full där man ställer ifrån sig skördaraggregatet vid avverkningsplatsen.

Gripfäste i kombination med utvecklade körmönster (se mer under rubriken "körmönster" i rapporten) ger ökad flexibilitet, vilket väntas ge positiva synergier som vi inte beräknat.

Kontinuerlig direktlastning leder till mer blandade lass än avverkning av olika sortiment på vägen in jämfört med vägen ut, vilket kräver mer genomtänkt metodik vid lossning.

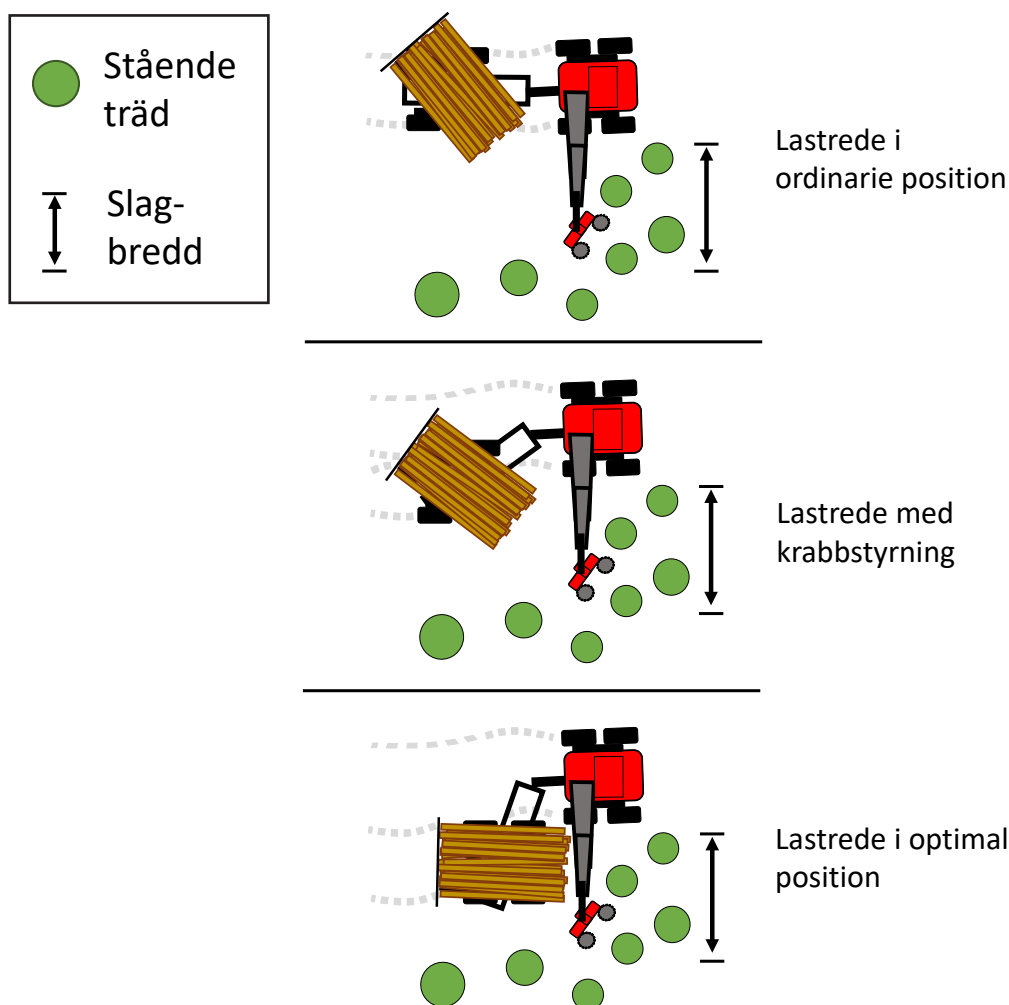
Vid arbete med den nya metoden bör utgångspunkten vara att börja avverka och lasta tidigast möjligt från avlägget och balansera vändning för att få fullt lastrede så nära avlägg som möjligt. Med varierande traktstorlek och -form kan man ändra var trakten delas genom att justera slagbredden, eftersom exempelvis ett bredare slag gör att lastredet blir fullt efter en kortare sträcka.

Beslutstöd för körmönster kan effektivisera arbetet för drivare såväl som TMS, men vi ser ingen tydlig fördel för ett av systemen.

STYRNING AV VAGN

Styrning av vagnen (Rottne 2019) eller två midjor (Eco Log 2019) möjliggör förskjuten lastföljning och bekvämare vinkel under avverkning, framför allt vid enkelsidig avverkning. Därutöver kan styrningen bli smidigare med bättre spårning, vilket är särskilt gynnsamt vid ny basväg.

Vid avverkningsarbetet kan lastredet föras närmare träden som ska avverkas, vilket sänker tidsåtgången för kran ut och intagning om ca fem procent vardera. Avståndet mellan stubbe och lastrede beräknas bli i genomsnitt 12 procent kortare vid en slagbredd om sex meter (Figur 2).



Figur 2. Illustration av hur avståndet mellan stubben och lastredet generellt blir kortare med krabbstyrning. Slagbredden antas vara sex meter.

Styrning av vagn skulle samtidigt innebära mer utrustning. Om den ökade vikten motsvarar en m³fub minskad lastkapacitet får vi en tidsökning som leder till en marginell kostnadsökning per avverkad volymenhet. Styrbar vagn bedöms därför inte som intressant. Utan hänsyn till kostnaden för styrbar vagn bedöms drivningskostnaden som likvärdig för drivare med respektive utan styrbar vagn då lastkapaciteten minskar med ca 0,8 m³fub. Förslaget ansågs vara ett av de nio mest intressanta enligt workshopens deltagare.

FLERTRÄDSHANTERING

Då upparbetningen utgör en relativt stor andel av drivarens drivningsarbete jämfört med dito för TMS skulle flerträdshantering kunna innebära större tidsminskning (Manner m.fl. 2016a). Samtidigt försvåras arbetet mer för drivaren då det är viktigare att mata till rätt fack på lastredet, jämfört med att mata till rätt hög för skördaren. Upparbetning med flera stammar kräver alltså något högre skicklighet för förare som kör drivare än skördare. Sammantaget bedöms systemens tidsåtgång påverkas likvärdigt av flerträdshanterande aggregat.

För att implementera kranspetsstyrning på en drivarkran med en led mer än en skördar- eller skotarkran krävs mer utvecklingsarbete. Samtidigt har drivarens arbete fler enskilda (arbets)moment än skördarens eller skotarens arbete och den högre komplexiteten medför troligen en större tidsbesparing för drivaren än för TMS. Sammantaget bedöms potentialen med kranspetsstyrning för drivare och TMS som likvärdiga. Utveckling av kranspetsstyrning förutsätts för att fördelarna med en smidigare kran ska nyttjas väl. Enligt Komatsus bedömning skulle utvecklingen inte påverka investeringskostnaden på en eventuell serietillverkad drivare. Förslaget ansågs vara ett av de nio mest intressanta enligt workshopens deltagare.

EXTRA BANKE PÅ LASTREDET

Vid avverkning har studiens förare i huvudsak sorterat timmersortiment i facket längst bort från hytten, klintimmer i mittenfacket och massaved i det närmaste facket (Figur 3). Vid arbete med kubbsortiment sorteras de därför lämpligen i mittenfacket. För effektiv hantering lär det räcka med ett extra par skiljestöttor och alltså inte en extra banke. I de fall apteringen leder till en relativt stor andel kubb lär det, då mittfacket är fullt, finnas tillräckligt med timmer eller massaved i de andra facken för att lasta vidare kubb ovan de sortimenten. Detta leder troligen inte till någon väsentlig förändring av investeringskostnad eller tidsåtgång gentemot TMS. Det kan dock vara relevant som tillval för drivare som kör i södra Sverige där det är vanligare med kubbsortiment. Tidsstudierna är gjorda med timmer och massaved och det finns därför inget utrymme för uppskattning av tidsbesparing.



Figur 3. Lastredet på Komatsu X19. Lastredets botten är tät mellan stöttorna i mittenfacket, vilket tillsammans med ett extra par skiljestöttor kan underlätta sortering av kubbsortiment.

LÄGRE LASTREDE

Lägre lastrede var ett önskemål som vi saknar underlag att beräkna inverkan av, utan lämnas istället till Komatsu som en fråga om maskinkonstruktion.

LÅNG BOGGIE PÅ VAGNEN

Medför sänkt marktryck vilket möjliggör körning vid sämre bärighet. Det följer dock mer skjuvning vid vändning. För att boggien inte ska skada lastredet vid körning över större hinder krävs att lastredet är högre upp, vilket leder till högre tyngdpunkt – eller låsning av boggie – och det gör drivaren mer klumpig. Vi bedömer att lång boggie inte är intressant i dagsläget.

KRAN MED KORT VIPPARM OCH EXTRA LÅNGT UTSKJUT

Istället för kran med geometri som från Valmet 801 Combi, där kranspetsstyrning krävs, kan en kran med kort vipparm och extra långt utskjut (Figur 4) fungera som alternativ för att minska nödvändigt utvecklingsbehov. Kranen lär behöva ha kort huvudarm för att undvika dagens svårighet med arbete nära kraninfästningen. Vi har inget underlag för att bedöma någon tidsbesparing med denna krankonstruktion.



Figur 4. Vänster. Tvågreppsskördaren Timberjack 1880. Notera kranen med lång huvudarm och utskjut/teleskop som fortsätter genom vippan (Bild: Fallaskog 2019). Höger. Rottne F15 med en modern vikarmskran. Notera att utskjutet inte fortsätter genom vippan (Bild: Rottne 2019).

DÄMPNING AV HYTT

För körning tom och full väntas Comfort Ride, anpassad för drivar-/skördarhytt, kunna dämpa vibrationer, vilket i huvudsak lär leda till förbättrad ergonomi. Högre körhastighet kan följa, men lär i så fall innebära mindre förbättring av ergonomi. Denna dämpning kan även gynna skördaren. Förslaget ansågs vara ett av de nio mest intressanta enligt workshopens deltagare.

PLANDÄMPAD FÖRARSTOL

Värdefullt för förbättrad ergonomi, men inget som gynnar det ena systemet mer än det andra.

GPS-STYRD AUTOMATISK KÖRNING

Vi ser potential att minska tidsåtgången och den mentala belastningen för körning tom och full med både skotare och drivare, men har inte skäl att tro att något av systemen gynnas mer än det andra.

SPECIFIKT ANPASSAD KRANPETSSTYRNING

Lösningen innebär att styrningen av kranrörelserna ser olika ut vid avverkning och lossning. Detta omfattar bland annat olika styrning av höjning och sänkning i avverkning- och lossningsarbete. Erfarenheter från liknande lösningar på skotaren visar att funktionaliteten nyttjas av få förare. Lösningen kan leda till tidsbesparing, men sannolikt då även för skotare. Det kan fungera som ett steg mot (hel)automatisering av kranrörelser.

VÄGANPASSAD BELYSNING

Behövs på en serietillverkad drivare men påverkar inte systemjämförelsen.

SMIDIGARE MASKIN

X19 upplevs som klumpig i jämförelse med Valmet 801 Combi. Då X19 har ram från en 895-skotare är midjan placerad för att det ska rymmas en kran på lastdelen. Detta krävs inte på en drivare och midjan kan därför skjutas bakåt vilket leder till bättre spårning. Tid kan exempelvis sparas vid vändning, men inverkan bedöms som liten.

Höj- och sänkbart extra hjulpar bakom den bakre boggin. Leder till sänkt marktryck och därmed minskad risk för spårbildning. Lösningen ger ökad bäryta och potentiellt högre lastkapacitet med bibehållet marktryck. Avståndet mellan de två boggierna bör kunna minskas, och med det extra hjulparet upplyft kan spårningen förbättras ytterligare. Eventuell tidsbesparing är inte bedömd.

BANDDRIFT

Banddrift istället för konventionella hjul kan medföra minskad vibrationsexponering för föraren, minskad spårbildning och högre körhastighet (Björheden 2018). De möjliga fördelarna är tillgängliga för skotare såväl som för drivare. Om banddrift medför en signifikant högre körhastighet skulle körningens andel av den totala drivningstiden minska. Då drivaren har svårare att konkurrera med TMS vid förutsättningar som leder till stor andel skotningstid, skulle ökad körhastighet sannolikt leda till ökad konkurrensförmåga för drivaren. Implementering av banddrift bedöms dock vara längre bort än en eventuell första generations drivare och betraktas alltså som visionär.

FLERPUMPSYSTEM

Leder till snabbare och starkare respons i arbete med hydrauliken. Förslaget ansågs vara ett av de nio mest intressanta enligt workshopens deltagare.

AUTOMATISK VÄNDNING AV KYLFLÄKT FÖR ATT HÅLLA RENT

Båda rubrikerna väntas inverka på båda systemen, men inte med olika tidsförändring. Förslaget ansågs vara ett av de nio mest intressanta enligt workshopens deltagare.

AVVERKA BÅDE IN OCH UT

Avverkning av träd med minoritetssortiment på vägen in så att de hamnar i botten och avverkning av träd med majoritetssortiment på vägen ut möjliggör renare sortering på det enskilda lasset, även med många sortiment. Detta leder dock till förlorad möjlighet till kontinuerlig avverkning av samtliga sortiment i båda riktningarna där körsträckan hade kunnat minskas (se ”körmönster” i rapporten). På trakter med många och jämnt utspridda sortiment kan det vara effektivare att avverka både på vägen in och på vägen ut, för att på så vis spara tid i lossningen. Vi har dock inget underlag för att dra slutsatser om förändring av tidsåtgång.

ÖPPNA OGALLRADE TRAKTER AVVERKANDES MED SKOGS-LAGRING

Vid avverkning av ogallrade trakter krävs att det genom avverkning öppnas en väg från avlägg till traktens bortre ände, från vilken fortsatt avverkning kan utgå från. Det är svårare att öppna vägen än att avverka längs ett öppnat slag eftersom drivaren vid vägöppning måste fälla träd framför sig, och då försvåras direktlastning. Första vägen på en trakt kan öppnas genom att:

- 1) Fälla på vägen in och lämna träden på marken, upparbeta och lasta på vägen till avlägg.
- 2) Avverka och direktlasta på vägen in, köra fullastad vägen ut.
- 3) Skörda på vägen in, köra tom ut, skifta redskap och skota som en skotare, alternativt ta med grip i nosfäste och skifta redskap längst in på den nyöppnade vägen.

Vi utgår från en trakt med 300 m³fub per hektar och 1000 stam per hektar (det vill säga 0,3 m³fub/stam) och 300 meters enkelt terrängtransportavstånd. Med alternativ 1 följer uppskattningsvis en dubblering av *kran ut* och *fällning* samt fler stopp som bedöms leda till 30 sekunders extratid för *körning mellan uppställningsplatserna*. Totalt ökar tidsåtgången med ca tio minuter per lass. Med alternativ 2 följer ca 50 procent mer tid för *kran ut* och *intagning*. Andra moment riskerar också att öka, men är inte beräknade här. Totalt bedöms tiden öka ca sex minuter per lass. Med alternativ 3 följer en höjd avverkningstid eftersom drivaren har sämre lyftkapacitet och precision vid arbete framför. I övrigt utförs arbetet som med ett TMS, men med en drivares högre kostnad och alternativet blir tydligt dyrare och faller därmed på sin orimlighet.

FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR EFFEKTIV LOSSNING

En effektiv avverkning, lastning och körning med och utan lass får till följd att komplexiteten och därmed tidsåtgången vid lossning ökar. Det krävs därför väl utarbetad metodik även för lossningsarbetet. Ett dubbelsidigt avlägg minskar komplexiteten och ökar möjligheterna till en effektiv lossning. Att få så stor virkesvolym lossad vid varje maskinposition som möjligt och därmed minimera antalet maskinförflyttningar mellan vältor, bidrar rimligen till att spara tid. En bra strategi är att samtidigt minimera antalet kran-cykler under lossningen. Detta kan exempelvis eftersträvas genom att placera de största sortimenten mitt emot varandra vid dubbelsidiga avlägg. Vid enkelsidiga avlägg kan minoritetssortiment lagras temporärt på skogssidan för flytt till rätt avlägg i anslutning till skiftavslut. Vi saknar underlag för att justera tidsåtgången med dessa förslag.

Vid eventuell serietillverkning skulle flera uppdateringar av drivaren ske, då flera komponenter uppdaterats i produktkataloger efter tillverkningen av Komatsu X19.

REGIONALT ENTREPRENÖRSKAP

Om drivaren riskerar att hanteras som nischmaskin med långa flyttar kan det vara intressant med entreprenörer som kör för flera uppdragsgivare för att minska arbetsområdet.

Det lär leda till lägre tröskel för att investera i en drivare i en specifik region och större kunskapsutbyte mellan både produktionsledare och entreprenörer. En sådan lösning kommer att kräva samarbetsanda mellan de företag och skogsägarföreningar som är aktiva i samma geografi men flytt- och ressträckor kommer också att minska (Palander 2018). Flexibiliteten med att en drivare arbetar åt fler uppdragsgivare lär vara viktigast strax över tröskeln att introducera drivare.

KARTUNDERLAG BASERAT PÅ LASERSKANNING

För val av lämpliga trakter. Förbättrat underlag kommer att minska skillnaderna mellan planer och utfall, vilket gynnar båda systemen.