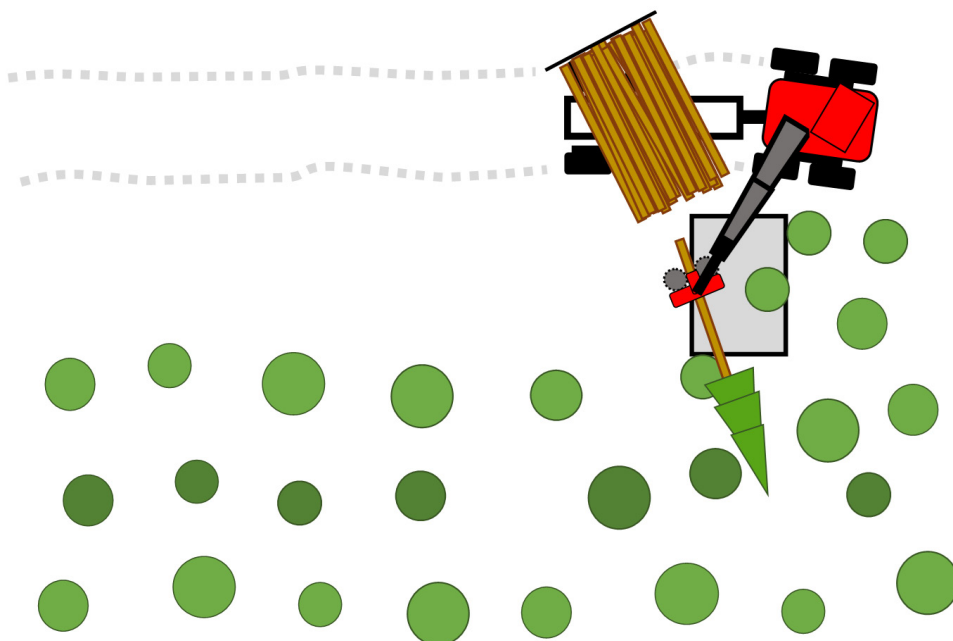
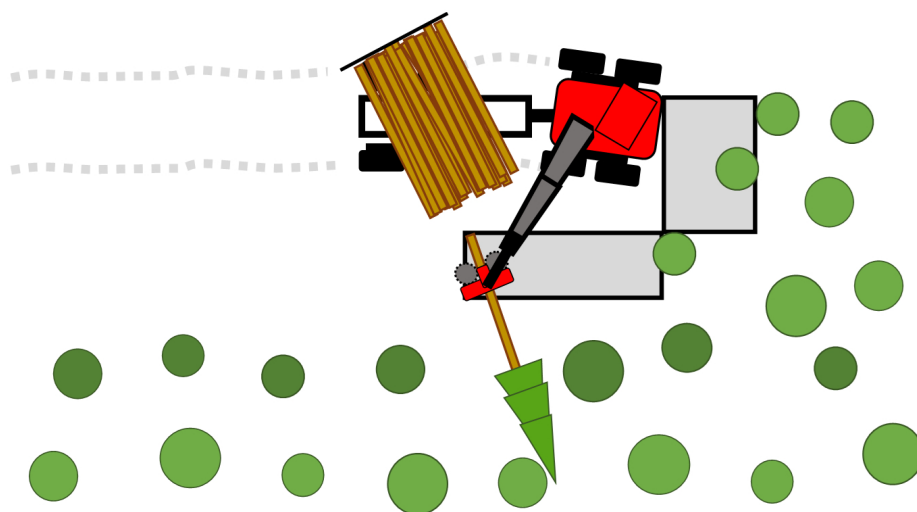


Två alternativa arbetsmetoder för drivare

EN FÄLTSTUDIE MED DRIVARPROTOTYPEN KOMATSU X19

Alternative work methods for harwarder

A field study using the harwarder prototype, the Komatsu X19



Summary

The harwarder is a machine that does the work of both a harvester and a forwarder. Unlike the existing harvester-forwarder system, the harwarder processes the wood directly on a load space ('direct loading'), so no wood is placed on the ground until it reaches the landing. Although the harwarder has never really broken through, it is the only alternative system with proven potential to compete with the harvester-forwarder system. However, harwarder productivity needs to be considerably improved before it can challenge the harvester-forwarder system on a large scale.

Productivity can be improved by developing technology and work methodology. In this study, we focused on the work methodology. The aim was to introduce and evaluate a new type of work method, and compare it with the traditional way of working with the harwarder.

In the traditional work method, the machine is driven inside the stand edge. The advantage of this is that more trees can be harvested per stop for felling, processing and loading. The broader cutting width means the loading drive distance is shorter. However, driving the machine inside the stand edge has a negative effect on the crane work. In spatial terms, the trees must be felled inappropriately in relation to the load space, so the felled trees must be pulled in a longer distance to the load space before the processing can begin.

In the alternative work method discussed here, the trees are felled outside the stand edge. There, the situation is the opposite. The narrower cutting width means the loading drive distance is longer. However, the crane work is made easier, because the trees are felled at an optimal distance to the load space; because of this, the processing can begin soon after felling.

In summary, it is simply a trade-off, simpler crane work against shorter loading drive distance. To determine which method is better, a comparative field study was carried out, where two experienced operators drove the harwarder using both methods.

When the machine was driven outside the stand edge, there was an 8.9 percent G_0 -time saving in the cutting-loading work compared with driving inside the stand edge. When the time taken for equipment change (harvester head ↔ forwarder grapple), unloading, driving empty and loaded were included in the analysis, the time saving was 4.9 percent.

Förord

Skogforsk utförde denna studie i samarbete med Holmen och Sveaskog. Initiering gjordes i samråd med Drivargruppen, som är en av Skogforsks styr- och referensgrupper. 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 maj 2018 av:

Företag	Namn
BillerudKorsnäs	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 två anonyma maskinförare som deltog i studien. Studien finansierades av Skogforsk.

Författarna

Uppsala, 2020-02-10

Innehåll

Summary.....	2
Förord	3
Sammanfattning	5
Introduktion	6
Material och metoder	7
Två alternativa arbetsmetoder	7
Studieupplägg	8
Arbetsmomenten	9
Statistiska analyser	10
Resultat	11
Diskussion	14
Referenser	16
Bilaga 1. Arbetsmomentdefinitioner	17
Bilaga 2. ANCOVA-resultat	18

Sammanfattning

Drivaren är en maskin som gör både skördarens och skotarens arbete. Till skillnad från det befintliga skördar-skotarsystemet upparbetar drivaren virket direkt på ett lastrede (så kallad direktlastning), vilket gör att inget virke hamnar på marken förrän vid avlägget. Trots att drivaren aldrig har slagit igenom ordentligt, är den det enda alternativa systemet som visat potential att kunna konkurrera med skördar-skotarsystemet. Likväl behöver drivaren ett prestationshopp för att kunna utmana skördar-skotarsystemet storskaligt.

Prestationen kan förbättras genom att utveckla teknologi och arbetsmetodik. I denna studie fokuserade vi på att utveckla drivarens arbetsmetodik. Syftet var att introducera och utvärdera ett nytt alternativ till arbetsmetod och jämföra det mot det traditionella sättet att jobba med drivare.

Enligt det traditionella arbetssättet körs maskinen innanför skogskanten. Fördelen med det är att fler träd kan avverkas per uppställningsplats. Tack vare den bredare slagbredden blir lastningskörsträcka kortare. Men att köra maskinen innanför skogskanten påverkar kranarbetet negativt. Träden måste, rumsligt sett, fällas olämpligt i förhållande till lastredet och följaktligen måste de fällda träden dras längre sträcka till lastredet innan upp- arbetning kan börja.

I den alternativa arbetsmetoden fälls träden utanför skogskanten. Där är läget precis motsatt. På grund av den smalare slagbredden blir lastningskörsträcka längre. Kran- arbetet underlättas däremot, eftersom träden fälls rumsligt optimalt nära lastredet och tack vare det kan upp- arbetning börja strax efter fällningen.

Sammanfattningsvis är det fråga om en avvägning; lättare kranarbete mot kortare last- ningskörsträcka. För att ta reda på vilken metod som är bättre, genomfördes en jäm- förande 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 då redskapsbyte (skördaraggregat ↔ skotar- grip), lossning, körning tom och körning lastad inkluderades i analysen.

Introduktion

Tvåmaskinsystemet dominerar

Tvåmaskinsystemet, bestående av skördare och skotare, har i praktiken inget utmanande system på den nordiska marknaden för avverkningsmaskiner (se Malinen m.fl. 2016). Skördaren fäller, kvistar, upparbetar och sorterar virket på marken, varifrån skotaren lastar det för transport till bilväg.

Drivaren har försökt utmana tvåmaskinsystemets överlägsna marknadsposition, men hittills inte lyckats storskaligt. Drivaren är en maskin som gör både skördarens och skotarens arbete. Virket upparbetas direkt på ett lastrede. Detta kallas för direktlastning. Till skillnad från tvåmaskinsystemet hamnar då inget virke på marken förrän vid avlägget.

Trots att drivaren aldrig har slagit igenom ordentligt, är den ändå det enda alternativa systemet som visat potential att i Norden seriöst kunna konkurrera med tvåmaskinsystemet – åtminstone under vissa förutsättningar. Så frågan är om drivare som ett grundkoncept ändå är för bra för att förkastas totalt? Klart är dock att drivaren behöver ett prestationshopp för att kunna utmana tvåmaskinsystemet storskaligt. Prestationen kan förbättras genom att utveckla teknologi och arbetsmetodik. Delautomatiserad drivare är ett försök att utveckla teknologi (se Manner m.fl. 2019b). Drivarprototypen X19 är ett annat exempel på teknologisk utveckling. För vidare läsning om systemjämförelsen ”tvåmaskinsystem kontra drivare” hänvisar vi till arbetsrapporterna Jonsson m.fl. (2016b) och Manner m.fl. (2016).

Drivarprototypen X19

2014 lanserade Komatsu Forest AB drivarprototypen X19. De tidigare drivarmodellerna var utrustade med kombinationsaggregat som fyllde funktionerna av både skördaraggregat och grip. I kontrast är X19 utrustad med ett snabbfäste som möjliggör smidiga redskapsbyten, vilket innebär att ett konventionellt skördaraggregat och skotargrip kan användas. Prestationen ökar då skördaraggregat och skotargrip används i stället för kombinationsaggregat (Jonsson m.fl. 2016a). X19 var den första drivaren, med 19 tons lastkapacitet, dimensionerad enbart för slutavverkning. Maskinen är utrustad med två par skiljestöttor som delar upp lastredet i tre fack. För vidare läsning om X19:s tekniska specifikationer hänvisas till arbetsrapporterna Jonsson m.fl. (2016ab).

Studien och dess syfte

Denna studie fokuserade på effektivisering av drivarens arbetsmetodik, i stället för att öka prestationen genom teknologiska innovationer. Syftet var att introducera och utvärdera en ny alternativ arbetsmetod till det traditionella sättet att jobba med drivare.

Material och metoder

TVÅ ALTERNATIVA ARBETSMETODER

Innanför skogskanten – Den traditionella metoden

Den traditionella metoden går ut på att maskinen succesivt avverkar längs en redan avverkad hyggeskant. Maskinen körs någon meter innanför skogskanten (Figur 1: alternativ A). Den här metoden är med vissa variationer den vedertagna och mest frekvent använda för drivare i slutavverkning, exempelvis under tidigare fältstudier med drivarprototypen X19 (Jonsson m.fl. 2016ab; Manner m.fl. 2016, 2019a). Metoden medför att träd som befinner sig i maskinens körriktning behöver fällas framför maskinen och sedan med hjälp av kranen förflyttas till lastredet där de upparbetas. Träd som står några meter utanför den tänkta körvägen snett framför maskinen, måste ofta också fällas i en position snett framför maskinen och förflyttas till lastredet för upparbetning. Detta för att möjliggöra att de träd som står rakt framför maskinen ska kunna hämtas in mot lastredet i en för upparbetningen praktiskt fungerande vinkel. När tillräckligt många träd fällts och upparbetats snett framför samt rakt framför maskinen kan maskinen köras framåt och träd som står vinkelrätt ut från sidan kan avverkas. När träden inom kranens räckvidd avverkats körs maskinen fram igen. Normalt blir det till den position där träd framför maskinen återigen hindrar en ytterligare förflyttning. Proceduren upprepas sedan på det sätt som beskrivits tidigare.

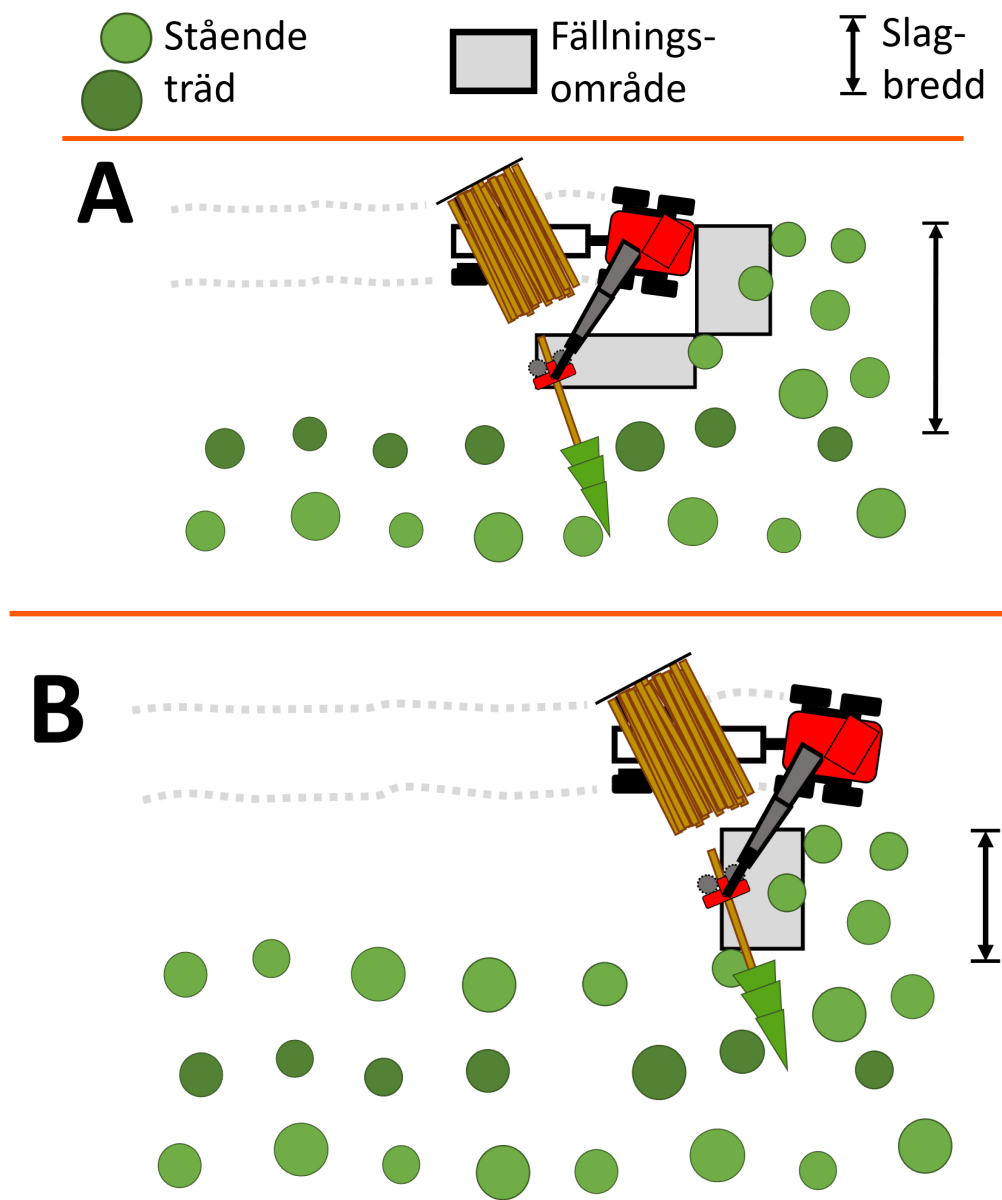
Utanför skogskanten – Den nya metoden

Efter att ha studerat drivaren vid ordinarie arbete i fält samt via videoupptagningar från en tidigare drivarfältstudie av Manner m.fl. (2019a) formulerades en alternativ metod. Den nya metoden går ut på att maskinen körs utanför skogskanten (Figur 1: alternativ B). Detta möjliggör att maskinen normalt kan placeras så att lastredet hamnar i en gynnsam position i förhållande till de träd som ska fällas. Maskinen förflyttas kontinuerligt i korta steg för att träden som ska fällas ska stå på lämpligt avstånd från lastredet. Syftet är att minimera andelen kranarbete och att träden som fälls ska befinna sig i en sådan vinkel i förhållande till lastredet att behovet av vridning av densamma minimeras före upparbetning.

Innanför eller utanför skogskanten?

Fördelen med att maskinen körs innanför skogskanten är att fler träd kan avverkas per uppställningsplats och tack vare bredare slagbredd blir lastningskörsträckan kortare (jämför alternativ A och B, Figur 1). Men att köra maskinen innanför skogskanten ökar andelen kranarbete, eftersom träden måste fällas på ett längre avstånd från lastredet, rumsligt olämpligt i förhållande till lastredet. Följaktligen måste de fällda träden dras en längre sträcka till lastredet innan upparbetning kan påbörjas.

Avverkas träden utanför skogskanten är läget motsatt. På grund av smalare slagbredd blir lastningskörsträckan längre. Kranarbetet blir däremot smidigare, eftersom träden fälls spatialt optimalt nära lastredet. Sammanfattningsvis är det en fråga om avvägning; smidigare kranarbete eller kortare lastningskörsträcka.



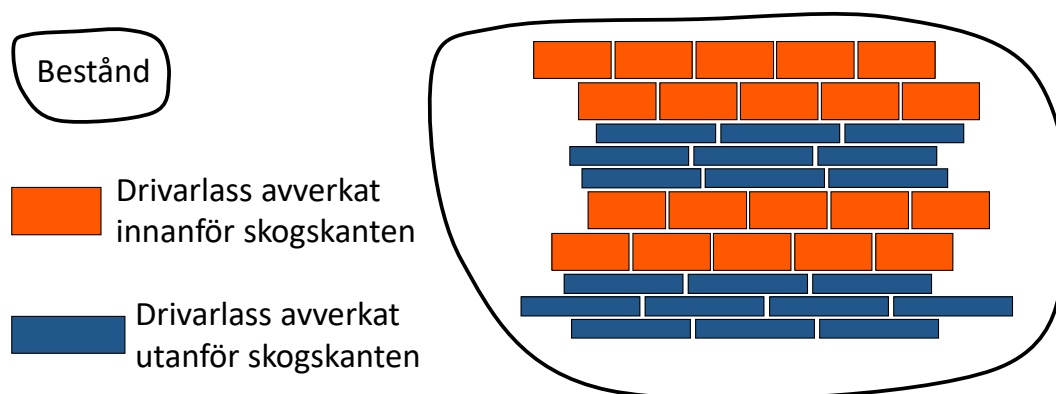
Figur 1. Avverknings-lastningsarbete på gång. Alternativ A: fällningsområde vid arbete innanför skogskanten. Alternativ B: fällningsområde vid arbete utanför skogskanten.

STUDIEUPPLÄGG

Fältstudien utfördes i ett slutavverkningsobjekt utanför Norsjö i december 2018. Under fältstudien kördes drivarprototypen Komatsu X19 av två förare. Båda förarna har lång erfarenhet av att köra skördare och skotare. Förare 1 hade kört skogsmaskiner i 28 år, förare 2 i 16 år. Förarna körde maskinen var för sig i fem dagar i rad, det vill säga maskinen var reserverad för en förare åt gången. Förarna övade på metoderna tills de kände sig bekväma med dem båda.

I studien valdes ett stort, symmetriskt och homogent bestånd ut vars GYL-mått var 1.1.2. Antal sortiment både per trakt och per lass var fyra (grantimmer, barrmassa, talltimmer och björkmassa). Enkelt terrängtransportavstånd under studien var 341 m och det definierades som ett aritmetiskt medelvärde av sträckorna körning tom och körning lastad. Avlägget var dubbelsidigt.

Ett specifikt schema på upprepningarna tillämpades för att slumpa och därmed jämna ut effekter från störvariabler (Figur 2). Utöver schemat användes antal stammar per lass som en kovariat för att kontrollera lassets beskaffenhet (se stycket Statistiska analyser). Förare 1 körde 10 drivarlass både innanför och utanför skogskanten medan förare 2 körde 10 drivarlass utanför skogskanten och 9 lass innanför. Följaktligen blev det totalt 20 lass för förare 1 och 19 lass för förare 2, och totalt 39 lass i studien. Under datainsamlingen avverkades totalt 784 m³ub och medelstamvolymen på de studerade lassen var 0,34 m³.



Figur 2. Körschema på hur slag eller "lass" utdelades på beståndet för att inte systematiskt (miss)gynna den ena eller andra arbetsmetoden.

ARBETSMOMENTEN

Arbetet delades upp i olika arbetsmoment enligt samma principer som tillämpades under de tidigare fältstudierna med drivarprototypen X19 samt maskinsimulatorstudien med delautomatiserad drivare (se Jonsson m.fl. 2016ab; Manner m.fl. 2016, 2019b).

Avverknings-lastningsarbetet bestod av arbetsmomenten: *Kran ut, Fällning, Intagning, Upparbetning* samt körning. Körningen omfattade två variabler: *Lastningskörtid* och *Lastningskörsträcka*. Arbetsmomentet *Upparbetning* analyserades som en helhet och delades även upp i tre delmoment: *Kvistning-kapning, Vridning och tiltning av lastredet* och *Justering av virke*.

Trots att arbetsmetoderna (innanför eller utanför skogskanten) enbart definierar avverknings-lastningsarbetet (inklusive respektive körning), omfattade datainsamlingen även arbetsmomenten *Körning tom, Körning lastad, Lossning* och *Redskapsbyte* (skördaraggregat ↔ skotargrip). Inverkan av faktorn *Arbetsmetod* på arbetsmomentet *Lossning* analyserades statistiskt, medan *Körning tom* och *lastad* samt *Redskapsbyte* endast observerades i ett deskriptivt syfte.

Studien utfördes som en konventionell tidsstudie med manuell tidtagning och prioritering tillämpades på arbetsmomenten. *Lastningskörtid* hade lägst prioritet. Detta innebär att *Lastningskörtid* enbart noterades om varken kran, aggregat eller vridning/tiltning av lastredet var aktiva. Vridning/tiltning av lastredet hade näst högst prioritet, vilket innebär att vridning/tiltning enbart noterades om varken kranen eller aggregatet användes. Kranarbetet (inkl. upparbetning) hade högsta prioritet, vilket innebär att tiden på kranarbetsmomenten alltid registrerades vid användning av kran – oavsett övriga arbetsmoment. Prioriteringen påverkade inte registrering av *Lastningskörsträcka*. Mer detaljerad beskrivning av arbetsmomenten samt deras avgränsningar finns i Bilaga A.

STATISTISKA ANALYSER

Kovariansanalys (ANCOVA) användes för att analysera hur faktorerna *Arbetsmetod* (innanför eller utanför skogskanten) och *Förare* (1 eller 2) påverkade tidsåtgång vid drivararbete. *Antal stammar per lass* användes som en kovariat. Tidsåtgången analyserades arbetsmomentvis för: *Kran ut, Fällning, Intagning, Upparbetning* (vidare uppdelad i: *Kvistning-kapning, Vridning och tiltning av lastredet* samt *Justering av virke*) och *Lastningskörtid*. Efter varje upprepning summerades dessa ovannämnda arbetsmomenttider till variabeln *Avverknings-lastningsarbete totalt*. Utöver tidsåtgången analyserades faktorernas inverkan även på *Lastningskörsträcka*.

Trots att det inte finns något direkt samband mellan faktorn *Arbetsmetod* och beroendevariabeln *Lossning*, analyserades även detta samband statistiskt. Däremot utgick rent transportarbete, *Körning tom* och *lastad*, från ANCOVA.

ANCOVA-modellerna analyserades med en generell linjär modell, och skillnader mellan olika behandlingar analyserades med hjälp av Tukey-test. Modellerna inkluderade också samspelseffekten mellan faktorerna *Arbetsmetod* och *Förare*. Vid behov transformerades beroendevariabeln och/eller kovariaten för att uppfylla ANCOVA-villkoren enligt Barrett (2011) och Johnson (2016). Alla medelvärden som redovisas i resultatavsnittet är modellerade funktionsvärden (Estimated Marginal Means) om inte något annat specifikt angavs. Virkesvolym anges genomgående i m³fub (fastmått under bark) och tidsåtgång i G₀-tid (effektiv tid utan avbrott). Som en gräns för statistiskt säkerställda skillnader har 5 procent använts ($p \leq 0,05$). Alla statistiska analyser genomfördes i programmet Enterprise guide 7.1 (SAS Institute Inc.).

Resultat

Förarna hopslagna

Som beskrivet fälldes träden antingen innanför eller utanför skogskanten. När förarna analyserades som en grupp sparades tid då träden fälldes utanför skogskanten under arbetsmomenten: *Kran ut* (32,5 procent), *Fällning* (6,7 procent) och *Intagning* (19,1 procent) (Tabell 1). På samma sätt förlorades tid under arbetsmomentet *Körning* (-30,5 procent). Däremot fanns ingen statistiskt säkerställd skillnad mellan arbetsmetoderna under momentet *Upparbetning*, oavsett om det analyserades som en helhet (summa) eller uppdelat i delmomenten *Kvistning-kapning*, *Vridning och tiltning av lastredet* och *Justering av virke*. Det tog 8,9 procent mindre tid under *Avverknings-lastningsarbetet totalt* då arbetet skedde utanför skogskanten, trots 56,6 procent längre *Lastningskörsträcka* (Tabell 1).

Arbetsmetoden, innanför eller utanför skogskanten, hade inte någon statistiskt säkerställd inverkan på tidsåtgång för *Lossning*, oavsett om förarna analyserades var för sig eller hopslaget som en grupp. Tidsåtgången för *Lossning* varierade dock statistiskt säkerställd mellan förarna (Bilaga B).

Förarvisa resultat för avverknings-lastningsarbetet

Då förarna analyserades var för sig fanns både skillnader och likheter i hur arbetsmetodiken påverkade förarvisa utfall (jämför Tabell 2 och 3). Båda förarna sparade totalt sett tid genom att fälla träd utanför skogskanten (7,0 procent, respektive 10,9 procent) trots den längre lastningskörsträckan (54,7 procent, respektive 58,4 procent). På samma sätt sparade de tid under arbetsmomenten *Kran ut* (31,0 procent, respektive 34,3 procent) och *Intagning* (17,8 procent, respektive 20,4 procent).

Förare 1 sparade tid genom att fälla träd utanför skogskanten under arbetsmomentet *Fällning* (12,8 procent) men *Lastningskörtid* blev längre (69,0 procent) (Tabell 2). Vad beträffar förare 2 påverkade *Arbetsmetod* inte statistiskt säkerställd på beroendevariablerna *Lastningskörtid* och *Fällning* (Tabell 3). Dessa olikheter mellan förarna framkallade statistiskt säkerställda samspelseffekter (Bilaga B). I övrigt framkallades inte några statistiskt säkerställda samspeleffekter, vilket betyder att inverkan av arbetsmetoden inte varierade avsevärt mellan förarna

ANCOVA-resultat

Trots att inkludering av kovariat (*Antal stammar per lass*) förbättrade modellerna något, behövde beroendevariabeln ändå transformeras i flera fall för att normalisera och harmonisera residualfördelningarna (Bilaga B). Relationen mellan kovariaten (*Antal stammar per lass*) och beroendevariablerna var linjär.

Arbetsmetod var den viktigaste faktorn för beroendevariablerna *Kran ut*, *Intagning* och *Lastningskörsträcka*, medan *Förare* var viktigast för beroendevariablerna *Fällning*, *Upparbetning*, *Lastningskörtid*, och *Avverknings-lastningsarbete totalt* (Bilaga B).

Tabell 1. Förarna hopslagna. Positiv besparing innebär att man använde mindre tid genom att arbeta utanför skogskanten (*Arbetsmetod: Utanför*) än innanför skogskanten (*Arbetsmetod: Innanför*). Negativ besparing innebär att man använde mer tid genom att arbeta utanför skogskanten (Utanför) än innanför skogskanten (Innanför). Tecknet "-" betyder att det inte fanns någon statistiskt säkerställd skillnad mellan arbetsmetoderna (Innanför, Utanför). Observationsenheten var ett drivarlass och totalt antal studerade lass var 39.

Arbetsmoment	Sekunder/m ³ fub		Besparing	
	Innanför	Utanför	%	p-värde
Kran ut	15,9	10,7	32,5	<0,001
Fällning	10,0	9,4	6,7	0,032
Intagning	16,4	13,3	19,1	<0,001
Upparbetning: Kvistning-kapning	38,3	37,3	-	0,162
Vridning av lastredet	2,1	2,0	-	0,286
Justering av virke	1,2	1,4	-	0,690
Summa	41,8	40,8	-	0,243
Lastningskörtid	6,5	8,5	-30,5	<0,001
Avverknings-lastningsarbete totalt	91,1	83,0	8,9	<0,001
Lastningskörsträcka, m/m ³ fub	3,4	5,3	-56,6	<0,001

Tabell 2. Förare 1. Positiv besparing innebär att man använde mindre tid genom att arbeta utanför skogskanten (*Arbetsmetod: Utanför*) än innanför skogskanten (*Arbetsmetod: Innanför*). Negativ besparing innebär att man använde mer tid genom att arbeta utanför skogskanten (Utanför) än innanför skogskanten (Innanför). Tecknet "-" betyder att det inte fanns någon statistiskt säkerställd skillnad mellan arbetsmetoderna (Innanför, Utanför). Observationsenheten var ett drivarlass och totalt antal studerade lass var 39.

Arbetsmoment	Sekunder/m ³ fub		Besparing	
	Innanför	Utanför	%	p-värde
Kran ut	16,7	11,5	31,0	<0,001
Fällning	11,1	9,7	12,8	0,010
Intagning	16,5	13,6	17,8	<0,001
Upparbetning: Kvistning-kapning	40,8	39,1	-	0,364
Vridning av lastredet	3,1	2,6	-	0,296
Justering av virke	1,5	1,5	-	>0,999
Summa	45,6	43,5	-	0,393
Lastningskörtid	7,0	11,8	-69,0	<0,001
Avverknings-lastningsarbete totalt	97,2	90,4	7,0	0,026
Lastningskörsträcka, m/m ³ fub	3,2	4,9	-54,7	<0,001

Antal stammar per lass (kovariat) har normerats till 59,4 (studiens aritmetiska medelvärde). Mer detaljerad statistisk beskrivning om resultat finns i Bilaga B.

Tabell 3. Förare 2. Positiv besparing innebär att man använde mindre tid genom att arbeta utanför skogskanten (Utanför) än innanför skogskanten (Innanför). Negativ besparing innebär att man använde mer tid genom att arbeta utanför skogskanten (*Arbetsmetod*: Utanför) än innanför skogskanten (*Arbetsmetod*: Innanför). Tecknet "-" betyder att det inte fanns någon statistiskt säkerställd skillnad mellan arbetsmetoderna (Innanför, Utanför). Observationsenheten var ett drivarlass och totalt antal studerade lass var 39.

Arbetsmoment	Sekunder/m ³ fub		Besparing	
	Innanför	Utanför	%	p-värde
Kran ut	15,1	9,9	34,3	<0,001
Fällning	9,0	9,1	-	0,999
Intagning	16,4	13,0	20,4	<0,001
Upparbetning: Kvistning-kapning	36,0	35,7	-	0,983
Vridning av lastredet	1,4	1,4	-	0,995
Justering av virke	1,0	1,3	-	0,914
Summa	38,6	38,5	-	>0,999
Lastningskörtid	6,0	5,2	-	0,688
Avverknings-lastningsarbete totalt	85,2	75,9	10,9	<0,001
Lastningskörsträcka, m/m ³ fub	3,6	5,7	-58,4	<0,001

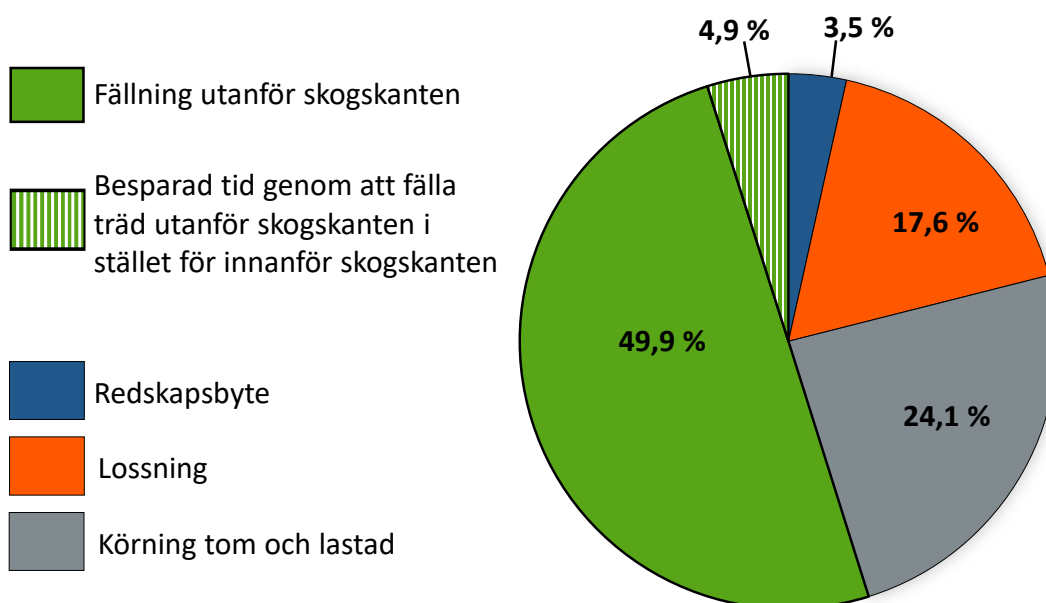
Antal stammar per lass (kovariat) har normerats till 59,4 (studiens aritmetiska medelvärde). Mer detaljerad statistisk beskrivning om resultat finns i Bilaga B.

Diskussion

Fällning utanför skogskanten kräver längre lastningskörsträcka än fällning innanför. Det beror på att slagbredden är smalare. Trots det behövdes mindre tid tack vare avsevärt effektivare kranarbete. Detta budskap är detsamma oavsett om förarna analyserades var för sig eller som en grupp.

Då arbetsmetoderna analyserades på arbetsmomentnivå fanns dock skillnader mellan förarna. Förare 1 sparade tid genom att fälla träd utanför skogskanten under arbetsmomentet *Fällning*, men *Lastningskörstid* blev längre. I kontrast hade *Arbetsmetod* inte någon statistiskt säkerställd effekt på arbetsmomenten *Fällning* eller *Lastningskörstid* på förare 2. Denna skillnad mellan förarna förorsakades dock inte direkt av faktorn *Arbetsmetod*, utan var en följd av förare 2:s körstil och tillämpning av prioritering under tidtagningen (se avsnittet Material och metodik). Förare 2 flyttade på maskinen ganska ofta under pågående kranarbete. Tack vare lätt nåbara träd var arbetsmetoden ”utanför skogskanten” speciellt tacksam för hans körstil och följaktligen var andelen simultan körning och kranarbete större vid fällning utanför än innanför skogskanten. Eftersom de kranarbetsrelaterade arbetsmomenten prioriterades över *Lastningskörstid*, har en del av den tid som egentligen hör hemma i *Lastningskörstid* registrerats antingen som *Kran ut*, *Fällning*, *Intagning*, *Kvistning-kapning* eller *Justering av virke*. Denna bias accentuerades vid fällning utanför skogskanten, vilket försvårar metodjämförelsen vid arbetsmomentnivån. Förare 1 använde kran under körningen i mycket mindre utsträckning, och följaktligen beskriver de numeriska resultaten verkligheten avsevärt bättre i hans fall. Den viktigaste variabeln, *Avverknings-lastningsarbete totalt*, har inte påverkats av denna bias överhuvudtaget. Detsamma gäller *Lastningskörsträcka*.

Fällning utanför skogskanten sparade 8,9 procent i G_0 -tid under avverknings-lastningsarbetet (Tabell 1). Denna besparing omvandlas till 4,9 procent då redskapsbyte (skördaraggregat ↔ skotargrip), lossning, körning tom och körning lastad inkluderas i analysen (Figur 3; Bilaga A).



Figur 3. Hela cirkelarealen (100 procent) motsvarar arbetet innanför skogskanten. Avverknings-lastningsarbetet innanför skogskanten utgör 54,8 procent (4,9 + 49,9 procent). Andelarna har räknats fram utifrån tidstudiedata (enkelt terrängtransportavstånd var 341 m).

Studiens ovanligt långa terrängtransportavstånd (341 m enkel väg) innebär att andelen av avverknings-lastningsarbetet är något mindre än vanligt. Terrängtransportavståndet påverkar även den relativa besparingen beräknad för en hel drivarvända. Inverkan av terrängtransportavståndet är dock bara måttligt eftersom dess andel av den totala tidsåtgången är relativt liten i alla fall. Om exempelvis enkelt terrängtransportavstånd halverades, skulle besparingen öka från 4,9 till 5,6 procent (jämför Figur 3).

Man bör också ta hänsyn till korta pauser, exempelvis upp till 15 minuter (G_{15} -tid), som är del av drivararbetet. Detta medför en minskning av den relativa besparingen något. Sammanfattningsvis kan konstateras att den föreslagna arbetsmetodiken att fälla träd utanför istället för innanför skogskanten kan spara upp till 5 procent av den totala G_0 -tiden vid drivararbetet. Denna gång fick förarna öva på den nya föreslagna metodiken i ett par dagar inför studien, men under längre inlärningsstid kan metodiken sitta ännu bättre.

Referenser

- Barrett T.J. 2011. Computations using analysis of covariance. *WIREs Computational Statistics* 3(3): 260–268.
- Johnson T.R. 2016. Violation of the homogeneity of regression slopes assumption in ANCOVA for two-group pre-post designs: Tutorial on a modified Johnson-Neyman procedure. *The Quantitative Methods for Psychology* 12(3): 253–263.
- Jonsson R., Jönsson P. & Lundström H. 2016a. Prestation och kostnader för slutavverkningsdrivare Komatsu X19 med snabbfäste. Skogforsk, Arbetsrapport 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 912.
- Malinen J., Laitila J., Väätäinen K. & Viitamäki K. 2016. Variation in age, annual usage and resale price of cut-to-length machinery in different regions of Europe. *International Journal of Forest Engineering* 27(2):95–102.
- Manner J., Arlinger J., Mörk A. & Jonsson R. 2019a. Prestationsutvärdering av drivare med avseende på sortimentsfördelning på lasset – En fältstudie med drivarprototypen X19. Skogforsk Arbetsrapport 1013.
- Manner J., Englund M., Mörk A., Lundström H. & Jonsson R. 2019b. Utveckling och utvärdering av automation för drivare – Jämförande studie i maskinsimulator. Skogforsk, Arbetsrapport 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 916.

Bilaga A. Arbetsmomentdefinitioner

Tabell A1. Arbetsmomentindelning.

Moment	Beskrivning
Kran ut	Från att aggregatrörelsen mot nästa avverkningsstam påbörjas eller att sista virkesbiten kapas, till att aggregat är 0,5 meter från avverkningsstam.
Fällning	Börjar då aggregatet är 0,5 meter från avverkningsstam och slutar när avverkningsstammen lättar från stubben.
Intagning	Börjar då avverkningsstammen lättar från stubben och slutar när aggregatet börjar mata stammen.
Kvistning-kapning	Börjar då aggregatet börjar mata stammen och slutar när sista virkesbiten kapas.
Vridning av lastredet	Börjar när lastredet börjar röra sig och slutar då lastredet stannar.
Justering av virke	Justering av virke på lastredet.
Lastningskörtid och/eller -sträcka	Börjar när hjulen börjar snurra inför flytt till ny uppställningsplats och slutar när hjulen stannar.
Av grip ¹⁾	Från att maskinen saktar in inför redskapsbyte tills gripen lossats från kran-spetsen.
På aggregat ¹⁾	Slutar när maskinen återupptar körning mot avverkningsplats med aggregatet monterat.
Av aggregat ¹⁾	Från att maskinen saktar in inför redskapsbyte tills aggregatet lossats från kran-spetsen.
På grip ¹⁾	Slutar när maskinen återupptar körning mot avlägg med gripen monterad.
Körning tom	Körning från avlägg till lastningsplats.
Körning lastad	Körning från lastningsplats med fullt lass till avlägg.
Lossning	Från att gripen flyttas mot lastredet inför första krancykeln i lossningen tills gripen återgår efter lossningens sista krancykel inför <i>Körning tom</i> . Körning vid avlägg ingår i Lossning.

¹⁾ I denna studie summerades de fyra delmomenten *På* och *Av aggregat* samt *På* och *Av grip* till variabeln Redskapsbyte.

Bilaga B. ANCOVA-resultat

Observera att tiderna är i centiminuter.

Förkortningar: sqrt = kvadratroten, ln = naturliga logaritmen

Dependent Variable: Kran ut, cmin/m³

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	922.078226	230.519557	48.67	<.0001
Error	34	161.021795	4.735935		
Corrected Total	38	1083.100022			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Kran ut, Mean
0.851332	9.752860	2.176220	22.31366

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Metod	1	718.3301653	718.3301653	151.68	<.0001
Förare	1	60.9835557	60.9835557	12.88	0.0010
Metod*Förare	1	0.0015065	0.0015065	0.00	0.9859
Antal stammar	1	112.9868222	112.9868222	23.86	<.0001

Dependent Variable: Fällning, cmin/m³

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	124.4965339	31.1241335	12.76	<.0001
Error	34	82.9226466	2.4389014		
Corrected Total	38	207.4191804			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Fällning, Mean
0.600217	9.637422	1.561698	16.20452

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Metod	1	12.18195460	12.18195460	4.99	0.0321
Förare	1	44.22473377	44.22473377	18.13	0.0002
Metod*Förare	1	13.95720489	13.95720489	5.72	0.0224
Antal stammar	1	18.76228700	18.76228700	7.69	0.0089

Dependent Variable: ln (Intagning), cmin/m³

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.79059344	0.19764836	30.84	<.0001
Error	34	0.21791201	0.00640918		
Corrected Total	38	1.00850545			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	ln (Intagning), Mean
0.783926	2.495292	0.080057	3.208335

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Metod	1	0.43500687	0.43500687	67.87	<.0001
Förare	1	0.00545339	0.00545339	0.85	0.3628
Metod*Förare	1	0.00231699	0.00231699	0.36	0.5517
Antal stammar	1	0.33568792	0.33568792	52.38	<.0001

Dependent Variable: 1/Upparbetning, cmin/m³

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.00006802	0.00001701	21.50	<.0001
Error	34	0.00002689	0.00000079		
Corrected Total	38	0.00009491			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	1/Upparbetning, Mean
0.716698	6.136197	0.000889	0.014492

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Metod	1	0.00000112	0.00000112	1.41	0.2427
Förare	1	0.00003903	0.00003903	49.36	<.0001
Metod*Förare	1	0.00000083	0.00000083	1.05	0.3134
Antal stammar	1	0.00000867	0.00000867	10.96	0.0022

Upparbetning är summan av Vridning av lastredet, Kvistning-kapning och Justering av virke.

Dependent Variable: Lastningskörtid, cmin/m³

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	762.858538	190.714635	25.48	<.0001
Error	34	254.467455	7.484337		
Corrected Total	38	1017.325994			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Lastningskörtid, Mean
0.749866	21.70625	2.735752	12.60352

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Metod	1	106.0536985	106.0536985	14.17	0.0006
Förare	1	362.0698166	362.0698166	48.38	<.0001
Metod*Förare	1	203.5273708	203.5273708	27.19	<.0001
Antal stammar	1	13.8792858	13.8792858	1.85	0.1822

Dependent Variable: 1/"Averknings-lastningsarbete totalt", cmin/m³

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.00002371	0.00000593	57.31	<.0001
Error	34	0.00000352	0.00000010		
Corrected Total	38	0.00002722			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	1/"Avverknings-lastnings...", Mean
0.870841	4.627189	0.000322	0.006950

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Metod	1	0.00000395	0.00000395	38.21	<.0001
Förare	1	0.00001009	0.00001009	97.55	<.0001
Metod*Förare	1	0.00000039	0.00000039	3.73	0.0618
Antal stammar	1	0.00000484	0.00000484	46.82	<.0001

Dependent Variable: sqrt (lastningskörsträcka), cmin/m³

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	2.31917761	0.57979440	15.97	<.0001
Error	34	1.23421700	0.03630050		
Corrected Total	38	3.55339461			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	sqrt (lastningskörsträcka), Mean
0.652665	9.223376	0.190527	2.065696

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Metod	1	2.07435804	2.07435804	57.14	<.0001
Förare	1	0.21489015	0.21489015	5.92	0.0204
Metod*Förare	1	0.00777751	0.00777751	0.21	0.6464
Antal stammar	1	0.03304322	0.03304322	0.91	0.3468

Dependent Variable: Lossning, cmin/m³

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	453683.7136	113420.9284	7.09	0.0003
Error	34	543803.2607	15994.2136		
Corrected Total	38	997486.9744			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Lossning, Mean
0.454827	13.44014	126.4682	940.9744

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Metod	1	10523.6204	10523.6204	0.66	0.4229
Förare	1	340235.1776	340235.1776	21.27	<.0001
Metod*Förare	1	31253.7877	31253.7877	1.95	0.1712
Antal stammar	1	3897.5615	3897.5615	0.24	0.6247