



Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 912 –2016

Prestation och kostnader för drivaren Komatsu X19 och tvåmaskinsystem med Komatsu 941 och 895 i grov slutavverkning

Performance and costs for the Komatsu X19 harwarder
compared to Komatsu 941/895 harvester/forwarder
in large size final felling

Rikard Jonsson, Petrus Jönsson, Jussi Manner, Rolf Björheden och Hagos Lundström

Arbetsrapport

Från Skogforsk nr 912-2016

I serien Arbetsrapport finns bakgrundsmaterial, metodbeskrivningar, resultat, analyser och slutsatser från både pågående och avslutad forskning.

Titel:

Prestation och kostnader för drivaren Komatsu X19 och tvåmaskinsystem med Komatsu 941 och 895 i grov slutavverkning.

Performance and costs for the Komatsu X19 harvester compared to Komatsu 941/895 harvester/forwarder in large size final felling.

Bildtext:

Komatsu 895, Komatsu 941 och Komatsu X19.

Fotograf: John Sandström/BITZER.

Ämnesord:

Skördare, skotare, tidsstudier, simuleringar, direktlastning. Harvester, forwarder, time study, simulations, direct loading.

Redigering och formgivning:

Ingegerd Hallberg

© Skogforsk 2016

ISSN 1404-305X



SKOGFORSK

Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala

Tel: 018-18 85 00 Fax: 018-18 86 00

skogforsk@skogforsk.se

skogforsk.se



Rikard Jonsson, jägmästare och forskare i Teknik och Virkesprogrammet på Skogforsk. Arbetar med teknik- och metodutveckling i drivningsarbete.



Petrus Jönsson, fil.mag. Anställd vid Skogforsk sedan 2006. Arbetar i programmet Teknik- och Virke.

Fokus ligger på dynamisk simulering och utvärdering av maskinsystem.



Jussi Manner, filosofie doktor och forskare i Teknik och Virkesprogrammet på Skogforsk. Arbetar med frågor kring datainsamling och analys samt utveckling av drivningsarbete.



Rolf Björheden, professor. Chef för FoU-programmet Teknik och Virke. Rolf har främst arbetat med metod- och systemutveckling för drivning och transport samt med försörjningssystem för skogsbränsle.



Hagos Lundström, försökstekniker. Arbetar med metodutveckling inom skogsskötsel, skogsteknik och biobränsle.

Abstract

Harwarders provide an alternative to the conventional two-machine system (TMS), allowing the entire logging operation to be carried out with one machine.

The prototype final felling harwarder, Komatsu X19, the harvester Komatsu 941 and forwarder Komatsu 895 were studied with two operators in heavy-timber final felling in Ångermanland. This was supplemented with simulations for smaller-size final felling. The machines were studied during one shift per operator. The X19 data set was complemented by data from an earlier study. Diesel consumption was measured through top filling.

The X19 showed theoretical potential to reduce logging costs by >5 % compared with the TMS, when haulage distance was shorter than 220 metres, mean stem volume lower than 0.31 m³sub and with five assortments. The potential reduction in costs was greater with even shorter haulage distance, smaller stem volume and fewer assortments. The simulation showed a need for more detailed analysis of system-specific variables and elements. No difference in diesel consumption was recorded.

The learning curve is likely to be significant, due to the work complexity of the harwarder. There are also administrative effects that have not been studied. The harwarder system seems to have substantial potential for development.

Förord

SCA och Holmen har som försöksvärdar bidragit med maskintid, avverkningsobjekt och maskinförare för denna studie. Initiering gjordes i samråd med Drivargruppen, en av Skogforsks samverkansgrupper. 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 oktober 2015 av:

Företag	Namn
BillerudKorsnäs	Per Nordahl
Holmen	Jonas Eriksson
Holmen	Daniel Högwall
Holmen	Robert Johansson
SCA	Magnus Bergman
SCA	Mattias Eriksson
SCA	Tomas Flemström
Stora Enso	Mattias Bränngård
Sveaskog	Lennart Hult
Södra	Patrik Anderchen
Södra	Magnus Peterson
Skogforsk	Rikard Jonsson (sammankallande)
Skogforsk	Petrus Jönsson
Skogforsk	Hagos Lundström

Planering av studie i samråd med drivargruppen, utförande av test, analys av data samt sammanställning av rapporten har gjorts av Rikard Jonsson, Petrus Jönsson, Hagos Lundström och Jussi Manner, med stöd av Rolf Björheden, Torbjörn Brunberg och Lars Eliasson, Skogforsk.

Vi vill varmt tacka alla som bidragit till studiens genomförande!

Uppsala 2016-12-16

Rikard Jonsson, projektledare

Innehåll

Förord.....	1
Sammanfattning.....	3
Introduktion	4
Syfte	6
Material och metoder	6
Studieförutsättningar.....	6
Tidsstudier	7
Körning och lossning.....	7
Kostnadsberäkningar	7
Simulering av klen skog.....	8
Drivmedelsförbrukning.....	10
Resultat.....	11
Tidsåtgång.....	11
Körning och lossning.....	12
Kostnader.....	12
Kompletterande analyser.....	14
Känslighetsanalyser	15
Simulering av klen skog.....	17
Drivmedelsförbrukning.....	18
Diskussion.....	19
Slutsatser	22
Referenser	22
Internet.....	23
Personlig kommunikation	24
Bilaga 1 Momentindelning	25
Bilaga 2 Rådata.....	27
Bilaga 3 Grundscenario.....	29
Bilaga 4 Statistikanalyser X19	31
Bilaga 5 Statistikanalyser 941	33
Bilaga 6 Variansanalys (ANOVA).....	35

Sammanfattning

I dag utförs nästan all drivning i svenskt skogsbruk utförs med ett tvåmaskinsystem (TMS), som består av skördare och skotare. Drivaren är ett alternativt system där en maskin ensam kan utföra både avverkning och terrängtransport. Drivaren Komatsu X19 kan uppjobba virket direkt på en tilt- och roterbar lastbärare. Detta medger att arbetsmomentet lastning i det närmaste bortrationaliseras. Tidigare studier har visat en ekonomisk potential för drivare vid korta terrängtransportavstånd, få sortiment och små trakter. Till drivarens nackdelar räknas hög investeringskostnad och lång inlärningskurva.

Denna studie avsåg tidsåtgång och kostnader för drivarprototypen Komatsu X19 i relation till TMS bestående av skördaren Komatsu 941 och skotaren Komatsu 895. En konventionell tidsstudie på momentnivå genomfördes i grov slutavverkning, i efterhand kompletterat med simuleringar för klen slutavverkning. Tidsstudien gjordes på ett studieobjekt i Ångermanland där två maskinförare studerades vid körning av samtliga tre maskiner. Studien av X19 omfattade 18 lass. Vid analysen inkluderades även 18 lass från en äldre studie, totalt 36 lass. TMS studerades vid avverkning av 1 090 stammar, fördelade på 18 skotarlass. Medelstamvolym, terrängtransportavstånd och antal sortiment användes som förklarande variabler vid analyserna. Simuleringen utfördes med ett dynamiskt, händelsebaserat verktyg med tider från tidsstudien. Dieselförbrukning mättes genom toppfyllning vid fyra tankningar för X19 och två vardera för 941 och 895.

Med studiens antaganden beräknas X19 ha potentiellt >5 procent lägre drivningskostnad än TMS då medelstamvolymen är lägre än 0,31 m³fub och vid terrängtransportavstånd kortare än 220 meter och fem sortiment. Kostnadskillnaden ökar till X19:s fördel, med sjunkande transportavstånd, medelstamvolym och färre sortiment. Små trakter gynnade X19, medan kapitalkostnaden framhölls som en kritisk faktor. X19 hade signifikant högre tidsåtgång för momenten körning och lossning men detta mer än kompenseras av att lastningsmomentet i stort sett bortrationaliserats. Simulering visade att en djupare analys av samspelseffekter mellan olika variabler och moment i respektive system bör utföras. Ingen skillnad i dieselförbrukning kunde konstateras.

Introduktion

I dag utförs majoriteten av drivning i svenskt skogsbruk med ett tvåmaskinssystem (TMS), som består av skördare och skotare. Systemet är robust och välbeprövat efter flera decenniers utveckling. Vid upparbetning med skördare läggs virket på marken innan skotaren lastar det för transport till bilväg. Vid arbete med drivaren Komatsu X19 kan virket upparbetas direkt på en tilt- och roterbar lastbärare. Detta medger att skotarens arbetsmoment lastning i det närmaste bortrationaliseras. Lindroos (2011) och Ringdahl m.fl. (2012) simulerade drivare och bedömde att investeringskostnaden är en kritisk faktor för drivaren, men med små innovationer kan konceptets konkurrensförmåga bli tydlig. Lindroos (2011) noterade en stark teoretisk potential, särskilt vid korta terrängtransportavstånd. Analyser av Hallonborg (1998; 2003), Hallonborg & Nordén (2000), Bergkvist m.fl. (2003), Wester & Eliasson (2003), Bergkvist (2007; 2008; 2010; 2012) och Jonsson m.fl. (2016) styrker slutsatserna om ökande konkurrensfördel vid korta terrängtransportavstånd. Bergkvist (2010) gjorde en sammanställning av studier och uppföljningar på drivare, med följande för- och nackdelar för drivarsystemet.

Bland drivarsystemets fördelar räknas:

- Lägre flyttkostnad, endast en maskin krävs per trakt.
- Inget skogslager, allt virke lagras vid bilväg vilket ger korta ledtider och god kvalitet på informationen om virkesvolym och sortiment.
- Virket hålls renare och risken för att virke snöar över försvinner.
- Helhetsansvar, föraren ansvarar för hela drivningen och ett utökat arbetsinnehåll ger större variation.
- Arbetsmiljön förbättras jämfört med skotning med tanke på att kroppsvibrationer är ett problem för skotarförare.
- Enklare planering, resursbalanseringen som krävs för skördare och skotare är inte aktuell för drivare.

Nackdelar:

- Känsligt för många sortiment p.g.a. direktlastning.
- Längre inlärningskurva för nya förare.
- Hög investeringskostnad, fullgod utrustning krävs både för avverkning och för skotning.
- Komplex maskin, medför risk för lägre TU.
- Kompromiss mellan två maskiner, sämre resultat i båda arbetsdelarna.
- Svaghet vid långa terrängtransportavstånd, drivarens potential försämras med ökande avstånd p.g.a. höga kapitalkostnader, i synnerhet vid jämförelse med skotare.

Att arbetsmiljön förbättras i drivaren jämfört med skotaren medförs av att skotaren lägger mer tid på körning än drivaren. Granlund & Thor (2005) gjorde jämförande vibrationsmätningar på drivare och skotare och fann ingen skillnad. Dock uppskattade Granlund & Thor (2005) att 30 procent av skotarna ligger över insatsvärdet för vibrationsexponering enligt EU-direktiv 2002/44/EG. Uppskattningen grundade sig på ett litet underlag av vibrationsmätningar, men indikerar ändå ergonomiska konsekvenser i normalt skotningsarbete.

Produktiviteten för en drivare bedöms kunna öka med specialiserade redskap, jämfört med kombinationsaggregat för både avverkning och virkeshantering. Ett snabbfäste förenklar byte mellan skördaraggregat och skotargrip (Hallonborg & Nordén, 2000). Då drivarsystemet är nytt i jämförelse med TMS finns det dessutom potential i teknik- och metodutveckling (Wester & Eliasson, 2003; Andersson & Eliasson, 2004; Lindroos, 2011; Ringdahl m.fl., 2012; Jonsson m.fl., 2016).

Eftersom flera författare påpekat att hög andel avverkning och liten andel skotning talar till drivarens fördel (Andersson, 1989), så var de drivare som först marknadsfördes avsedda för gallring och klen slutavverkning och utrustade med kombinationsaggregat. Dessa maskiner lyckades inte visa tillräcklig konkurrensförmåga mot TMS, vilket ledde till svag efterfrågan på maskinerna. Tillverkningen av drivare upphörde därför 2007. Intresset för konceptet kvarstod dock och arbete inleddes med att utveckla en ny drivare (Bergkvist, 2010).

Våren 2014 började testkörningarna av drivarprototypen Komatsu X19 som är avsedd för slutavverkning. Maskinen har en tilt- och roterbar lastbärare med 19 tons lastkapacitet. Chassi och drivlina är från skotaren Komatsu 895 och övriga komponenter kommer från skördarmodellerna eller är specialkomponerade (Bildström, 2014). Komatsu X19 hade inledningsvis ett kombinationsaggregat men har sedermera utrustats med snabbfäste för skifte mellan skördaraggregat och skotargrip, vilket ökar effektiviteten i avverkning och lossning (Jonsson, 2015). Jonsson m.fl. (2016) studerade tidsåtgång för X19 med en förare och jämförde med norm för skördare och skotare. Vid en kostnadsjämförelse visade X19 på en teoretisk potential att sänka drivningskostnaden med 7–12 procent, vid terrängtransportavstånd kortare än 400 meter. En osäkerhet var dock att jämförelsen av X19 och TMS hade genomförts baserat på studier av olika förare och bestånd. En jämförande studie av X19 och TMS på samma trakt och med samma förare efterfrågades.

Miljöpåverkan är viktig att belysa i systemanalyser. Utsläpp av ”fossil” koldioxid, som följd av drivmedelsförbrukning, är en variabel som framför allt kopplar emot klimatpåverkan. Bergkvist (2007) fann att slutavverkning med drivare förbrukade 32 procent mindre diesel än motsvarande arbete med skördare och skotare.

Andersson & Eliasson (2004) jämförde tre arbetsmetoders inverkan på drivarens produktivitet i förnygringsavverkning och fann att enkelsidig uppbyggnad var mest gynnsam.

Denna studie är den andra i en serie av tidsstudier på Komatsu X19.

Syfte

Syftet var att studera tidsåtgång och kostnader för slutavverkningsdrivaren Komatsu X19 i relation till TMS. Jämförelserna avser främst prestation, $m^3\text{fub}/G_0\text{-timme}$ samt kostnad, $\text{kr}/m^3\text{fub}$.

Material och metoder

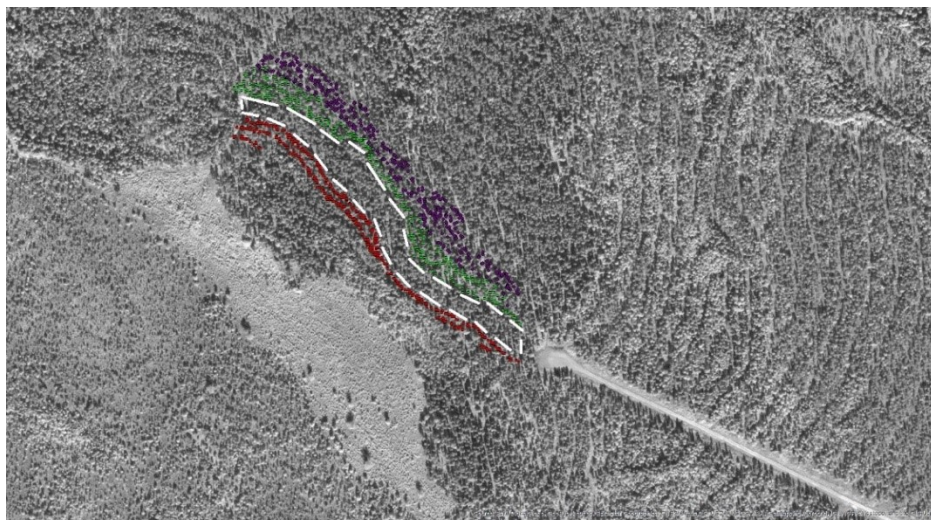
STUDIEFÖRUTSÄTTNINGAR

Drivarprototypen Komatsu X19 jämfördes med TMS, bestående av skördaren Komatsu 941 och skotaren Komatsu 895. Samtliga maskiner är dimensionerade för arbete i föryngringsavverkning (Tabell 1). Maskinerna studerades i månadsskiftet oktober/november, vecka 43 och 44, 2015. Studierna gjordes på ett avverkningsobjekt hos SCA Skog AB utanför Sollefteå, med goda grundförhållanden och medelgrov skog (Bilaga 2).

Tabell 1.
Beskrivning av de studerade maskinerna.

Märke och modell	Komatsu X19	Komatsu 941	Komatsu 895
Tillverkningsår	2014	2012	2015
Motoreffekt, kW	193	210	193
Kranlängd, meter	9,7	10	10
Lastkapacitet, ton	19	–	20

Två maskinförare studerades, Anders Lidén och Erik Norrman. Anders Lidén har erfarenhet av att köra skördare, skotare, den tidigare drivaren Valmet 801 och hade vid studietillfället varit provförrare av X19 under cirka 1,5 år. Erik Norrman har erfarenhet av att köra skördare och skotare och provkörde X19 i knappt två månader före studien. Båda förarna studerades i samtliga tre maskiner vid drivningsarbete på en avverkningstrakt utanför Bispgården (Figur 1).



Figur 1.
Studerad föryngringsavverkning. Turkosa symboler visar Förare A i X19, gröna visar Förare B i X19 och röda visar förare A i TMS. Koordinater är hämtade från hpr-filer från X19 och 941 och varje punkt representerar en uppställningsplats för en avverkad trädstam. Förare B i TMS visas med vitt streckat område i figur då koordinater saknades.

X19 studerades vid drivning av 1028 stammar, fördelade på 18 lass. TMS med 941 och 895 studerades vid avverkning av 1090 stammar, som fördelades på 18 skotarlass (Bilaga 2). Även 18 drivarlass med Anders Lidén, med totalt 1 362 stammar, från Jonsson m.fl. (2016) ingår i underlaget för analyserna av X19. Totalt har alltså 36 lass med X19 studerats (Formel 3).

TIDSSTUDIER

Komatsu X19, 941 och 895 studerades på momentnivå (Bilaga 1). Analyser har sedan gjorts med stam som observationsenhet för 941, och med lass för X19 och 895. Tider har noterats i G_0 -minuter.

Insamlade mätresultat analyserades i statistikprogrammet SAS (SAS 2016). Tidsåtgång för X19 och 941 analyserades med varsin blandad modell (Bilaga 4 och 5). Då skotarprestationen är svår att modellera, nivåldes vedertagen skotarfunktion (Brunberg, 2004) till studiens prestationsnivå, genom att funktionen inmatad med studiens förutsättningar, multiplicerades med koefficient (Formel 1).

Justerad tidsåtgång för 895, G_0 -minuter/ m^3 fub (C):

Tidsåtgång för 895, beräknat genom att skotarfunktion justerats till tidsåtgång i studien. Koefficienten (Tid_{studie}/Tid_{norm}) återfinns i resultatavsnittet (sidan 11).

$$C = \frac{Tid_{studie}}{Tid_{norm}} \times Normfunktion \quad (1)$$

Tid_{studie} = Genomsnittlig tidsåtgång i G_0 -minuter/ m^3 fub i studien.

Tid_{norm} = Beräknad tidsåtgång i G_0 -minuter/ m^3 fub enligt norm (Brunberg, 2004) med studiens förutsättningar. Normfunktionen utgår från G_{15} -tid och har därför justerats till G_0 -tid med faktorn 0,94.

Normfunktion = Beräknad tidsåtgång i G_0 -minuter/ m^3 fub enligt norm under givna förutsättningar (Brunberg, 2004). Normfunktionen utgår från G_{15} -tid och har därför justerats till G_0 -tid med faktorn 0,94.

Koefficienten (Tid_{studie}/Tid_{norm}) gav värdet 0,593.

KÖRNING OCH LOSSNING

Momenten körning tom, körning full samt lossning har likadant innehåll för X19 och 895. Momenten jämfördes med variansanalys (GLM-procedur, Minitab 17).

KOSTNADSBERÄKNINGAR

Kostnader har beräknats med kalkylverktyget SkogforskFLIS (Hofsten m.fl., 2005) med korrigeringar för att passa studiens analyser. SkogforskFLIS är framtaget för att beräkna och analysera systemkostnader i drivning och transport till industri.

Kalkylen har korrigerats för:

1. **Resursbalansering:** Skördaren och skotaren har inte samma prestation, vilket gör det nödvändigt att balansera tidsinsatsen för de båda maskinerna. I kalkylen har denna balansering skett genom att tidsinsatsen för den *sämst* presterande maskinen ökats så att producerad årsvolym blivit likvärdig med den *bäst* presterande maskinen. Detta innebär för den *sämst* presterande maskinen att utnyttjade timmar, obekvämt arbetstid och övertidstimmar ökar.
2. **Maskinlivslängd:** Beräkningen är gjord utifrån antal G_{15} -timmar. Därigenom beaktas att maskinvärdet påverkas av hur många timmar per år som varje maskin nyttjas. Livslängden i antal timmar har sedan räknats om till antal år vid beräkning av avskrivningskostnader.

Studiens förare har i genomsnitt presterat cirka 43 procent över norm (Brunberg, 2014), både då de kört skördare och skotare. Det är en vanlig situation vid studier, dels på grund av att skickliga förare valts ut och dels på grund av att man i en studie normalt inte fångar alla störningar och avbrott som förekommer i löpande drift. Med ökad prestationsnivå kommer antalet flyttar och därmed andelen flyttid att bli högre än för normalpresterande förare. För att få en realistisk kostnadsandel för flytt vid objektsbyte har de observerade prestationerna korrigerats genom att multipliceras med en faktor 0,7, vilket ger en ”normal” prestation för skördare och skotare 2013 (Brunberg, 2014). Denna justering har endast gjorts vid beräkning av maskintidkostnad. Kalkylen har matats in med värden enligt grundscenariet (Bilaga 3) samt medelvärden för skogliga företag i Sverige, antagna av Drivargruppen. Maskintidkostnaden har utifrån kalkylen beräknats till 1 196 kr/ G_{15} -timme för X19, 1 179 för 941 och 1 087 för 895.

Vid beräkning av drivningskostnad, kr/ m^3 fub, har maskintidkostnaden, kr/ G_{15} -timme dividerats med prestationen, m^3 fub/ G_{15} -timme. Här har inte prestationen per timme korrigerats till normalprestation (Bilaga 4 och 5).

SIMULERING AV KLEN SKOG

Studiens syfte är att, över medelstamvolym, jämföra prestation och kostnader för slutavverkningsdrivaren Komatsu X19 respektive skördaren Komatsu 941 tillsammans med skotaren Komatsu 895, d.v.s. ett tekniskt likartat TMS. Vissa delar av dimensionsregistret representerades svagt i materialet. Detta hanterades genom simulering av avverkningsprestation för X19 i skog med medelstamvolym mellan 0,1 – 0,3 m^3 fub (Bilaga 2). Funktionen för tidsåtgången i avverkning (F) består av delarna fällning och upparbetning, båda beroende av stamvolym (mst).

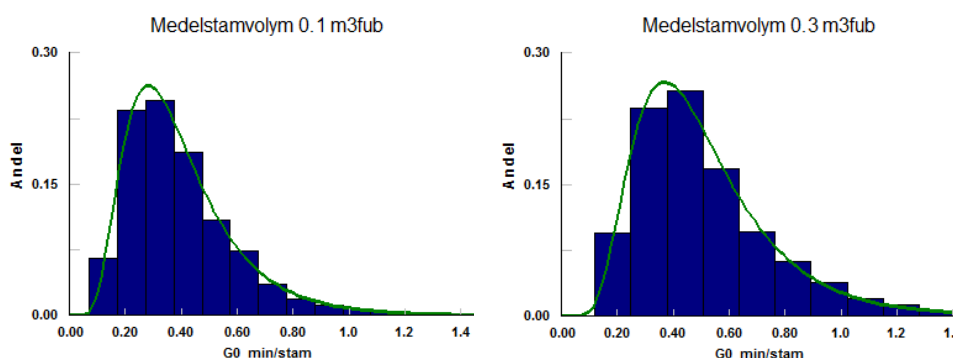
Tidsåtgång för avverkning med X19 (F), G_0 -minuter/stam:

Tidsåtgången förklaras av stamvolym. I funktionen ingår även byte mellan skotargrip och skördaraggregatet.

$$F = 0,3472 + 0,5289 \times mst \quad (2)$$

mst = medelstamvolym, m^3 fub/stam.

Funktionen för tidsåtgång i avverkning (F) ansätts vid simuleringen på stammar som framslumpats genom slumpvariabeln LogNor (μ , σ), som är lognormalfördelad med ett medelvärde (μ) och standardavvikelse (σ).



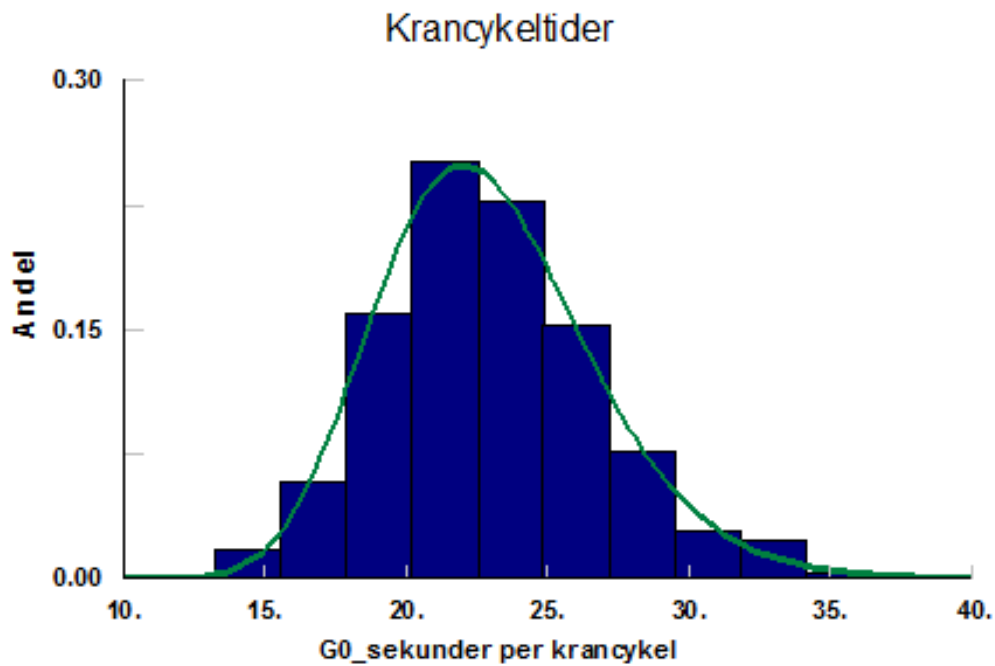
Figur 2.

Avverkningstiderna från studiematerialet kan approximeras med en lognormalfördelning, grön linje. Figuren till vänster visar hur tiderna ser ut vid avverkning av stammar med $0,1 m^3$ fub i medel. Figuren till höger anger tiderna för upparbetning då avverkningen sker i skog med $0,3 m^3$ fub medelstamvolym, tidsstudiedata.

För förflyttning mellan uppställningsplatser har en binomialfördelning använts för att slumpa ut hur många stammar som kan avverkas per plats. I binomialfördelningen Bin (n , p), anger n antalet utfall och p sannolikheten för varje utfall. Bin (10 ; $0,8$), ger antal träd per uppställningsplats som ligger mellan 5 och 10 med ett medelvärde på 8. Detta styr sedan hur många gånger som en förflyttning måste ske. Tiden för förflyttning mellan uppställningsplatser är konstant och har satts till 10 sekunder. Körning mellan uppställningsplatser och stammar per uppställning är kopplade till den arbetsmetod som antas vara mest fördelaktig för X19, genom att begränsa fällning nära maximal kranräckvidd och i stället förflytta maskinen oftare kan arbetet effektiviseras.

Hastigheter som använts i modellen för X19:s skotningsarbete är 55 meter per minut vid terrängkörning utan lass och 52 meter per minut vid terrängkörning med lass.

För lossningsarbete har krancykeltid bestämts av tidsstudiedata, medelvärdet beräknades till 22,74 sekunder per cykel och standardavvikelsen till 3,88. Dessa tider har använts som ingående parametrar i Lognormalfördelningen (Figur 3). Antalet stockar per krancykel har slumpats ut med en binomialfördelning, Bin (7 ; $0,7$) med en variation från 4 till 10 stockar och ett medel på 7 stockar.



Figur 3.
Krancykeltider genererade med lognormalfördelning, grön linje. Notera att x-axeln inte börjar på 0.

DRIVMEDELSFÖRBRUKNING

Dieselförbrukning mättes i samtliga maskiners arbete. Mätningarna utfördes genom toppfyllning av dieseltank med dieselpump vid maskinkojan. Mätningar gjordes direkt före och efter aktuell studiedag. Vid toppfyllning parkerades studiemaskinen på en uppmärkt plats för att få likvärdig lutning på maskinens dieseltank och motsvarande fyllnadsgrad vid både tankning före och efter studiedagen. Maskinkojans dieselpump kalibrerades inte, men eventuell fel-skattning bedöms påverka maskinsystemen X19 och TMS likvärdigt. Studerad förbrukning jämfördes med beräknad dieselförbrukning för skördare och skotare enligt norm (Brunberg, 2013). Noterad dieselförbrukning beräknades per avverkad och uttransporterad volym och skillnaden uppskattades gentemot prognosticerad dieselförbrukning enligt norm.

Resultat

TIDSÅTGÅNG

Tidsåtgång för X19, G₀-minuter/m³fub (A):

X19:s tidsåtgång (A) beskrivs av faktorer som terrängtransportavstånd, virkeskoncentration och medelstamvolym.

$$A = \left(122,33 - 8,57 + 0,19 \times tgtpav - 28,95 \times vkonc + \frac{32,75}{mst} \right) / 100 \quad (3)$$

tgtpav = enkelt terrängtransportavstånd, meter.

vkonc = virkeskoncentration, m³fub virke per meter väg.

Andra konstanten (-8,57) representerar antalet sortiment per lass. X19 är analyserad utifrån antal sortiment per lass, inverkan av antalet sortiment på prestationen i skotning är beräknad utifrån antal sortiment per objekt. Utifrån antagandet att sortimenten inte är jämnt utspridda på ett objekt, valdes analys av fyra sortiment per lass för X19. I genomsnitt antas alltså X19 lasta ett sortiment färre per lass än det totala antalet sortiment på objektet (se Bilaga 3 och 4 för mer information).

Virkeskoncentration vid tidsberäkning för X19, m³fub virke/meter väg (D):

Volymen per hektar divideras med körsträckan per hektar.

$$D = stamantal \times \frac{mst}{(10\,000/\text{slagbredd})} \quad (4)$$

stamantal = stamantal/ha

slagbredd = avstånd mellan vägar, meter (se Bilaga 3 för värde)

Tidsåtgång för 941, G₀-minuter/m³fub (B):

Tidsåtgången förklaras av medelstamvolymen.

$$B = (30,9 + 32,3 \times mst) / mst / 100 \quad (5)$$

(se Bilaga 3 och 5 för mer info)

KÖRNING OCH LOSSNING

Drivarsystemets och TMS:s arbete består mestadels av mycket olika arbetsmoment, vilket omöjliggör statistiska jämförelser på momentnivå. De enda undantagen i detta sammanhang är körning utan och med lass samt lossning.

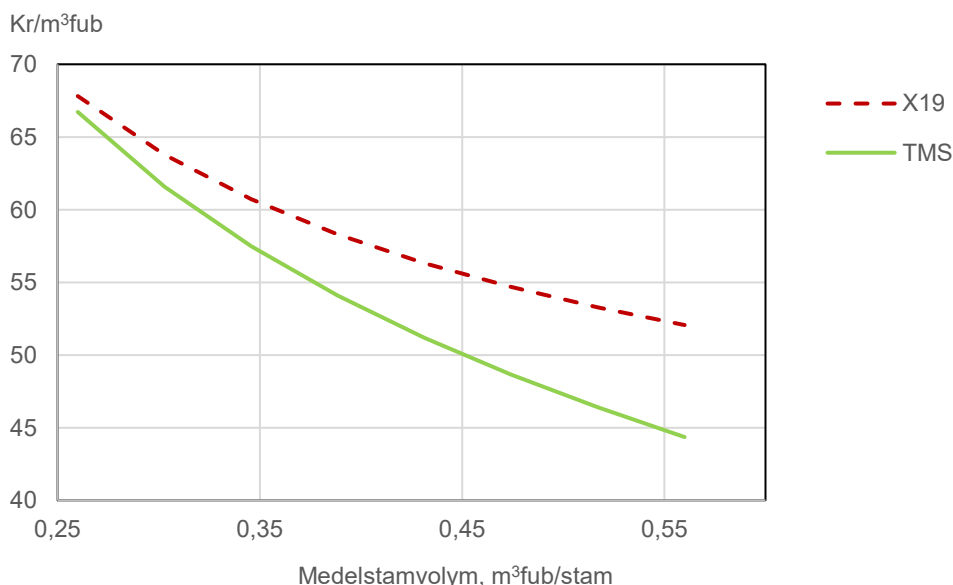
Komatsu X19 körde i genomsnitt 29 meter per minut utan lass medan 895 körde 52 procent fortare, 44 meter per minut. Skillnaden är statistiskt signifikant. Motsvarande värden för körning med lass var 31 samt 35 meter per minut, men de värdena skiljde sig inte statistiskt. Det är anmärkningsvärt att X19:s körhastighet med och utan lass nästan är lika (29 respektive 31 meter per minut) och därmed skiljde de sig inte heller statistiskt åt. Generellt körde 895, både med och utan lass, i genomsnitt 32 procent fortare än X19. Denna skillnad är statistiskt signifikant.

Komatsu 895 behövde 15,3 sekunder att lossa en kubikmeter virke medan X19 behövde 21,5 sekunder d.v.s. 41 procent längre tid, vilket är statistiskt signifikant. Dessa tidsobservationer inkluderar både kranarbete och körning. (Bilaga 6)

KOSTNADER

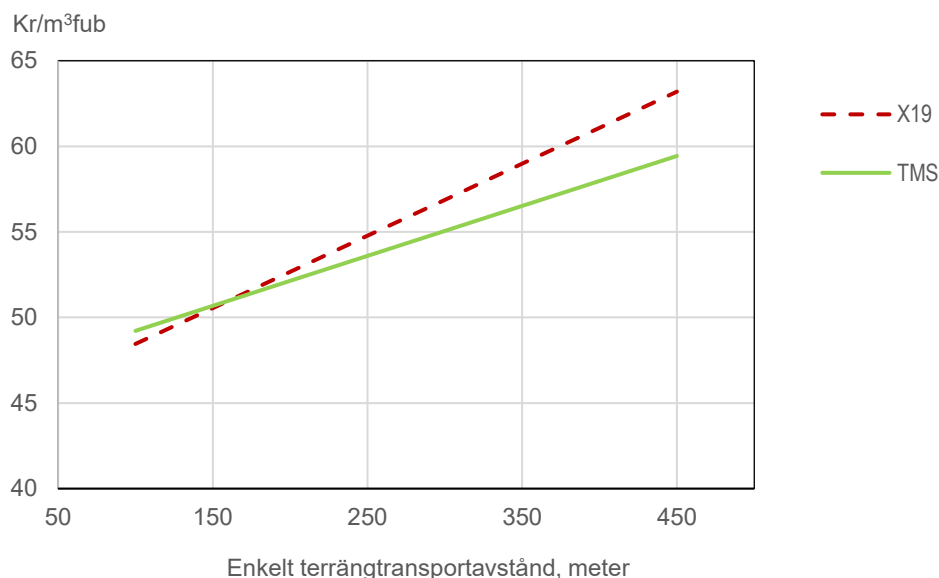
Kostnaderna har beräknats utifrån ett grundscenario (Bilaga 3). Grundscenariets värden har i första hand valts utifrån generella förutsättningar i norra och mellersta Sverige. Observera att x- och y-axeln sällan börjar i origo i presenterade figurer.

Kalkylerade drivningskostnader för TMS och X19 är likvärdiga vid medelstamvolym 0,26, skillnaden är en krona per m³fub. Vid ökande medelstamvolym sjunker kostnaderna något hastigare för TMS än för X19 (Figur 4).



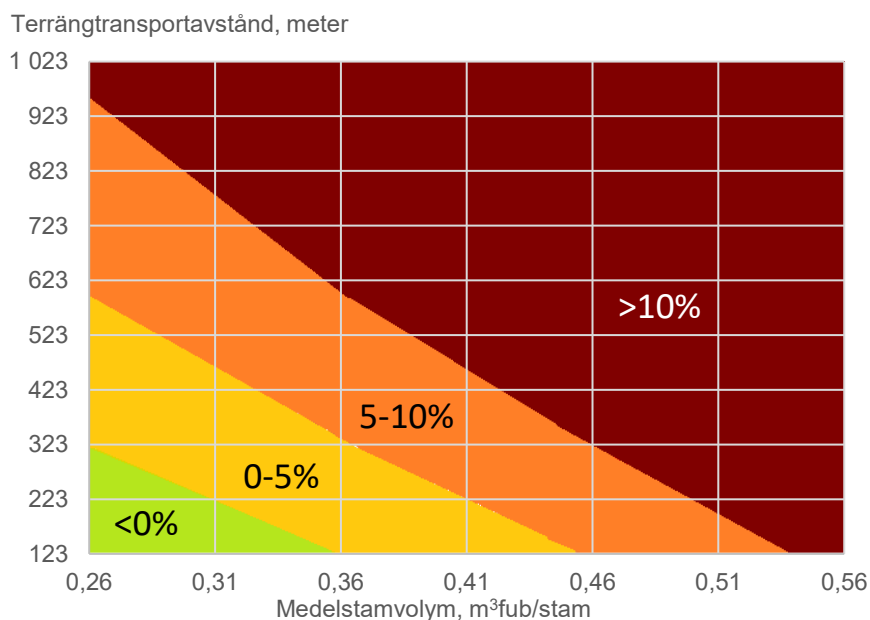
Figur 4. Drivningskostnad för X19 och TMS vid varierande medelstamvolym. Terrängtransportavstånd 400 meter, enligt grundscenario. Notera att varken y-axeln eller x-axeln börjar på 0.

Drivningskostnaderna för X19 och TMS beräknas vara likvärdiga vid 160 meter enkelt terrängtransportavstånd. Kostnadsökningen vid ökande transportavstånd är starkare för X19 än för TMS. (Figur 5)



Figur 5.
Drivningskostnad vid varierande terrängtransportavstånd. Vid grundscenariets medelstamvolym, 0,34 m³fub/stam, skär kostnadslinjerna för systemen varandra vid 160 meter. Notera att varken y-axeln eller x-axeln börjar på 0.

Drivningskostnaden för TMS och X19 påverkas starkt men på olika sätt av medelstamvolym och terrängtransportavstånd. I jämförelse med TMS beräknas X19 ha potential att klara längre terrängtransportavstånd då medelstamvolymen är lägre än vid måttlig medelstamvolym. Omvänt har X19 potential att klara måttlig medelstamvolym om terrängtransportavståndet är kort (Figur 6).



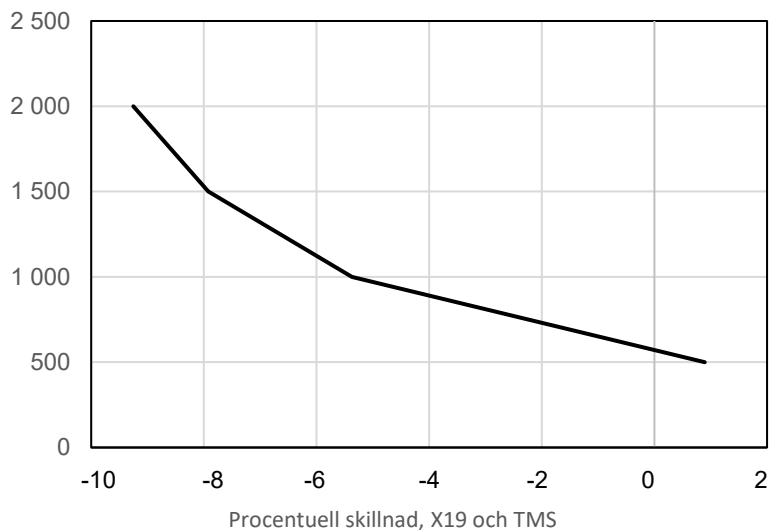
Figur 6.
Kostnadsskillnader mellan X19 och TMS. Skillnaden är beräknad som: $1 - (\text{X19 kostnad} / \text{TMS kostnad})$. Positivt värde innebär alltså att X19 beräknas ha högre drivningskostnader än TMS. Gränsen mellan gult och grönt fält motsvarar beräknad jämvikt i drivningskostnad mellan systemen. Notera att varken y-axeln eller x-axeln börjar på 0.

KOMPLETTERANDE ANALYSER

Enligt grundscenariet beräknas drivningskostnaden vara 5,4 procent högre för X19 än för TMS. Resultaten bygger främst på systemens känslighet för nyckelvariabler som medelstamvolym och transportavstånd. Det finns fler variabler som inverkar på tidsåtgång och kostnader. Bland dessa har känsligheten för ställtid per flytt, traktstorlek och ränta analyserats. Skillnader mellan X19 och TMS är beräknade i kr per m³fub.

Ställtid per flytt och traktstorlek hänger samman med flyttarna, vilka har en stark effekt på systemkostnaderna (Figur 7 och 8).

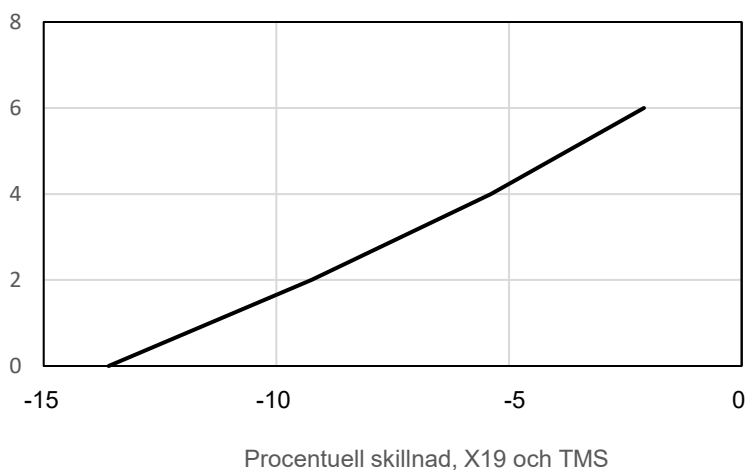
Traktstorlek, m³fub/trakt



Figur 7.

Skillnad mellan X19 och TMS vid olika traktstorlek. Negativ skillnad innebär att X19 beräknas kosta mer per volymenhet. Notera att x-axeln inte börjar på 0.

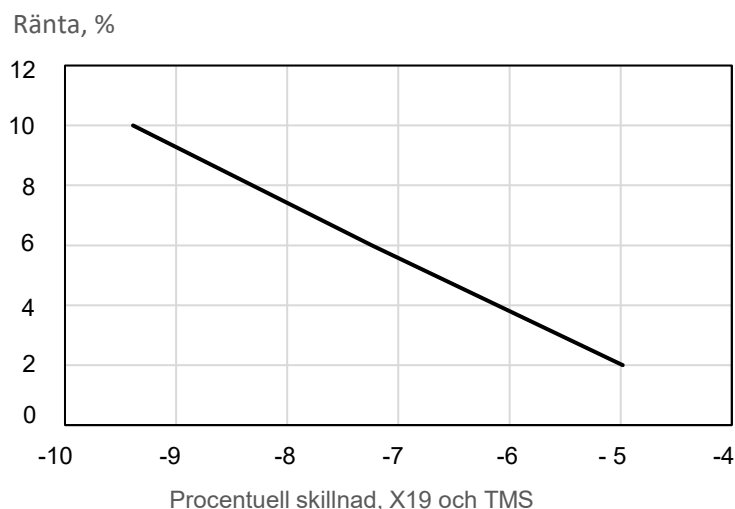
Ställtid per flytt, timmar



Figur 8.

Skillnad mellan X19 och TMS vid olika ställtid per flytt. Negativ skillnad innebär att X19 beräknas kosta mer per volymenhet. Notera att x-axeln inte börjar på 0.

Förändring av räntan påverkar X19 något mer än 941 och 895 p.g.a. en högre investeringskostnad. Perioden 2006–2016 har riksbanksränta (Stibor 90, 2016), plus 3 procent marginal varierat mellan 2,6 och 8,3 procent. Räntenivån är knuten till investeringskostnaden och har stark påverkan på skillnaden mellan systemen. (Figur 9)

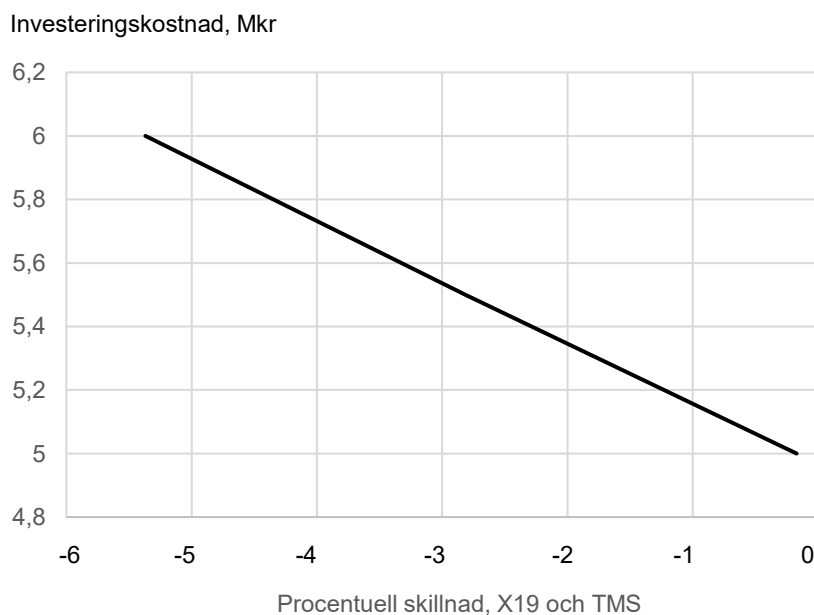


Figur 9. Skillnad mellan X19 och TMS vid varierad ränta. Negativ skillnad innebär att X19 beräknas kosta mer per volymenhet. Notera att x-axeln inte börjar på 0.

KÄNSLIGHETSANALYSER

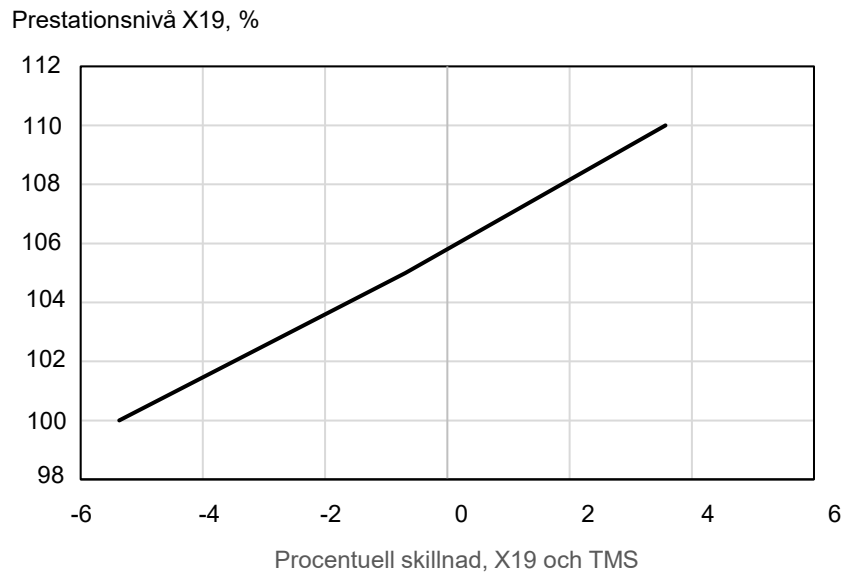
Det finns variabler med inverkan på resultaten vars nivåer är okända eller svåra att skatta. Denna känslighetsanalys syftar till att visa hur förändring av dem kan påverka resultaten. Nivåerna har valts utifrån rimlighetsbedömningar. Skillnader mellan X19 och TMS är beräknade i kr per m³fub.

Resultatet är känsligt för X19:s investeringskostnad (Figur 10).



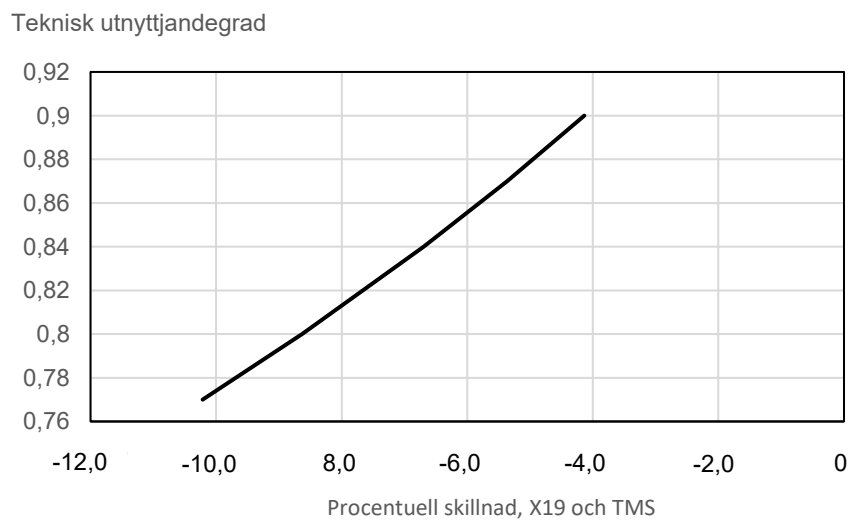
Figur 10. Skillnad mellan X19 och TMS vid olika investeringskostnad för X19. Negativ skillnad innebär att X19 beräknas kosta mer per volymenhet. Notera att varken y-axeln eller x-axeln börjar på 0.

Resultatet är känsligt för förändringar av X19:s prestationsnivå (Figur 11).

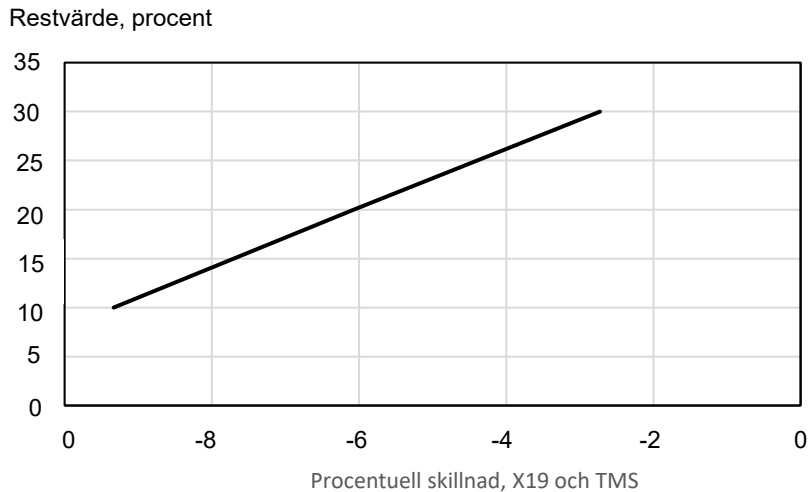


Figur 11.
Skillnad mellan X19 och TMS vid olika prestationsnivå för X19. Negativ skillnad innebär att X19 beräknas kosta mer per volymenhet. Notera att varken y-axeln eller x-axeln börjar på 0.

Resultatet är mycket känsligt för vilken teknisk utnyttjandegrad och restvärde som antas för X19. Teknisk utnyttjandegrad påverkar något starkare än restvärdet (Figur 12).



Figur 12.
Skillnad mellan X19 och TMS vid varierad teknisk utnyttjandegrad för X19. Negativ skillnad innebär att X19 beräknas kosta mer per volymenhet. Notera att varken y-axeln eller x-axeln börjar på 0.

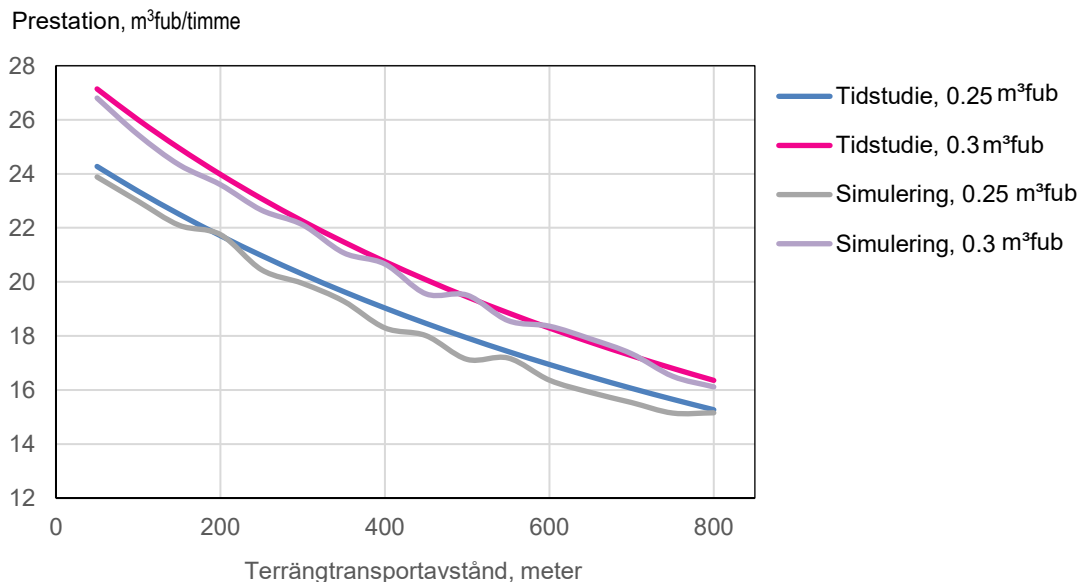


Figur 13. Skillnad mellan X19 och TMS vid varierat restvärde för X19. Negativ skillnad innebär att X19 beräknas kosta mer per volymenhet. Notera att x-axeln inte börjar på 0.

I grundscenariet har antalet sortiment per lass på X19 antagits vara ett färre än antalet sortiment per objekt. Skillnaden påverkas svagt vid test av två färre, skillnaden minskar med 1,6 procent till fördel för X19.

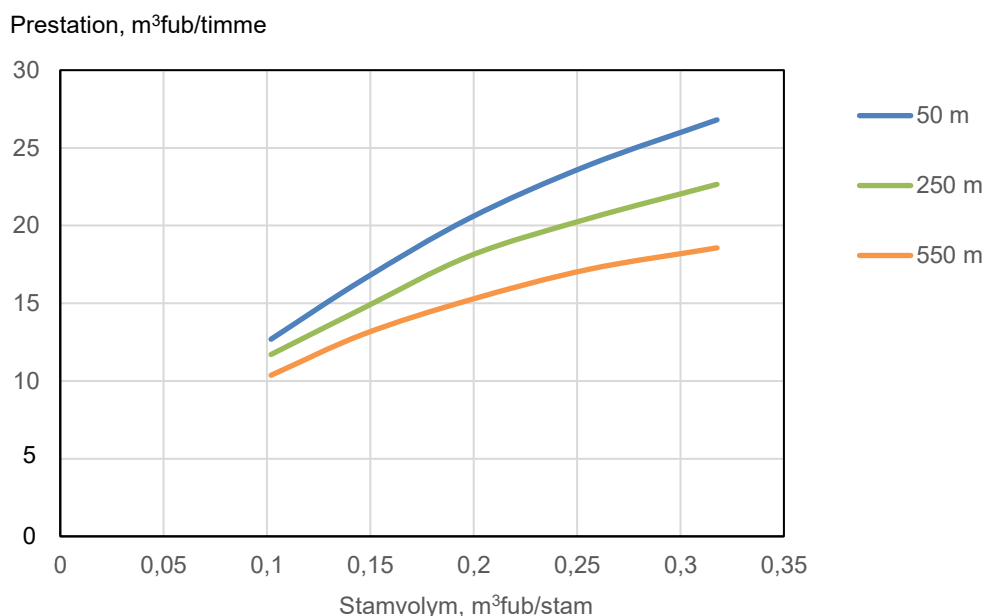
SIMULERING AV KLEN SKOG

Simuleringen avser prestationen för X19 i klenare skog, med medelstamsvolymer 0,1 – 0,3 m³fub. Prestationsfunktioner baserades på observationer av ytor med medelstamvolym i intervallet 0,26 – 0,56 m³fub. I Figur 14 har resultaten från simuleringsmodellen jämförts mot resultaten från tidsstudien i intervallet med de grövre medelstamvolymerna. Detta har gjorts för att verifiera att simuleringsmodellens resultat på X19:s prestation ligger på samma nivå som tidsstudierna.



Figur 14. Jämförelser mellan tidsstudien och simuleringen i intervallet 50–800 meter terrängtransportavstånd. Kurvornas vågor beror på simuleringens naturliga variationer men även på att det kan finnas samspelseffekter mellan de olika faktorema, stamvolym och terrängtransportavstånd. Notera att y-axeln inte börjar på 0.

De prestationsnivåer som visas i Figur 15 är en sammanställning av simuleringar gjorda med olika medelstamvolym och terrängtransportavstånd. För varje experiment, exempelvis medelstamvolym 0,1 m³fub och 50 meter terrängtransportavstånd, har simuleringssmodellen körts 25 gånger. Genom att upprepa experimentet kan ett väntevärde och tillhörande standardavvikelse beräknas i stället för bara ett medelvärde. Linjerna som ses i Figur 15 är väntevärdena, presenterade per experiment.



Figur 15. Prestationssamband för klenare medelstamvolym enligt simulering. Färgen för de olika linjerna representerar olika terrängtransportavstånd från 50 till 550 meter.

DRIVMEDELSFÖRBRUKNING

Under studien gjordes mätning vid 4 tankningar av X19. Komatsu 941 och 895 mättes vid 2 tankningar vardera. Mätningarna motsvarade all studerad volym för båda systemen.

Komatsu X19 drog i genomsnitt 65 procent diesel jämfört med normvärden för skördare och skotare, motsvarande förbrukning för TMS var 61 procent.

Tabell 2. Dieselförbrukning per tids- och volymenhet. Totalt noterades fyra observationer med X19 och två med TMS.

Mätning	1	2	3	4	5	6
Maskinsystem	X19	X19	X19	X19	TMS	TMS
Förare	A	A	B	B	A	B
Medelstamvolym, m ³ fub/stam	0,37	0,39	0,40	0,35	0,34	0,37
Terrängtransportavstånd, meter	308	205	270	279	387	332
Dieselförbrukning, liter/G ₀ -timme	22,0	21,5	21,5	20,7	-	-
Dieselförbrukning, liter/m ³ fub	1,01	0,88	0,83	0,88	0,95	0,82
Dieselförbrukning skördare och skotare, liter/m ³ fub (Brunberg 2013)	1,40	1,34	1,36	1,40	1,46	1,42
Skillnad mellan norm och studie, %	-28	-34	-39	-37	-35	-42

Diskussion

Med de maskintidkostnader och förutsättningar som använts i denna studie av X19 och TMS var drivningskostnaderna mellan 0 och 5 procent lägre för X19 jämfört med TMS, vid terrängtransportavstånd kortare än 235 meter och med medelstamvolym 0,3 m³fub per stam eller klenare. Liknande resultat vad gäller terrängtransportavståndet har redovisats även i flera tidigare studier (Hallonborg 1998; 2003; Hallonborg & Nordén, 2000; Bergkvist m.fl., 2003; Wester & Eliasson, 2003; Bergkvist 2007; 2008; 2010; 2012; Lindroos, 2011; Jonsson m.fl., 2016), medan effekten av ökande medelstamvolym på drivarsystemets konkurrensförmåga jämfört med TMS varit mera omstridd. Denna studie visar på ökad konkurrensförmåga gentemot TMS vid sjunkande medelstamvolym, vilket även visats av Bergkvist (2007; 2008; 2010; 2012) och Hallonborg (1998; 2003). Teoretiska analyser av Lindroos (2011) visade på ökning av konkurrensförmåga för drivare vid ökande medelstamvolym. Liknande tendenser visades av Jonsson m.fl. (2016). Väätäinen m.fl. (2006) såg en konkurrensfördel vid ökande volymuttag per arealenhet. Många sortiment har i tidigare studier visat på en konkurrensnackdel för drivare (Hallonborg, 1998; Bergkvist m.fl., 2003; Jonsson m.fl., 2016). Denna studie har bara omfattat fem sortiment per objekt, men ökat antal sortiment per lass har visat på tidsökning (Bilaga 4), vilket hänger ihop med tidigare studier.

Terrängtransportavståndet påverkar endast skotaren i TMS. I studien körde Komatsu 895-skotaren 32 procent fortare än X19, vid jämförelse av körning både med och utan lass. Skotaren är samtidigt den maskin som har lägst tidkostnad. Detta innebär att TMS är minst känsligt för terrängtransportavståndet. Medelstamvolymen påverkar både avverknings- och skotningsarbete, vilket komplicerar jämförelsen mellan TMS och drivarsystem. Komatsu X19:s arbetsmönster innebär att alla avverkade stammar, även mycket klena, förs till lastbäraren för upparbetning. Detta gör att en ökande medelstamvolym gynnar X19 mer än 941 relativt sett, under själva avverkningsmomenten. Vid upparbetning med 941 flyttas fällda trädstammar längs markytan till upparbetningsplatsen, medan trädstammarna måste lyftas upp till X19:s lastbärare, vilket försvårar avverkning i grov skog. Fördelen med direktlastning för X19 försvagas av att lastningstiden för 895 minskar med ökande medelstamvolym. X19 och drivarkonceptet är därför, som även hävdats av Hallonborg (1998; 2003) och Bergkvist (2007; 2008; 2010; 2012), främst intressant i klenare bestånd.

Simuleringarna av X19 bygger huvudsakligen på funktioner som sammanställdes under studien. Funktionerna har använts för att avgöra prestationsnivåer i klenare bestånd (<0,26 m³fub per stam). Dock återstår fortfarande att undersöka flera intressanta samspelseffekter, exempelvis vilka moment som påverkas av att X19 avverkar skog med klen medelstamvolym. Genom att göra detaljerade simuleringar, modellen byggs så att varje arbetsmoment ingår för vardera av maskinsystemen, på X19 och TMS skulle det vara möjligt att visa samspelet mellan skördare och skotare och vilka moment som X19 måste bli effektivare på, för att kunna konkurrera med TMS rent prestationsmässigt.

I komplexa arbetsprocesser finns det utrymme för att under korta perioder öka prestationen. Kuitto m.fl. (1994) jämförde uppmätt prestation vid tidsstudie och driftsuppföljning för totalt 60 skördare och skotare. Studien visade på högre tidsåtgång per avverkad volymenhet vid driftsuppföljning och skillnaden var 27,6 procent för skördare och 24,2 procent för skotare. En drivarförare behöver både behärska avverkningsarbetet med direktlastning över en tilt- och roterbar lastbärare, och lossning av flera sortiment. Därav kan man förvänta sig att X19:s skillnad mellan studerad tidsåtgång och tidsåtgången vid normal drift är större än 27,6 procent. Till detta hör även förareffekten och skillnader mellan olika förare. Kärhä m.fl. (2004) studerade gallring med små gallrings-skördare och fann att skillnaderna mellan olika förare, trots likvärdiga förutsättningar, varierade upp till 40 procent. Purfürst (2010) studerade tre års produktivitet för 32 skördarförare i gallring. Förarnas prestationsnivåer varierade upp till 52 procent vid slutet av studien och prestationsnivåerna hade ökat med i genomsnitt 110 procent. Inlärningskurvan lär vara längre och dyrare för en drivarförare än för en skördar- eller skotarförare, p.g.a. arbetets högre komplexitet. Samtidigt innebär det att vi inte har sett drivarens fulla potential i denna studie. I komplexa arbetsprocesser finns utrymme för att under en kort tidsperiod öka prestationen, vilket medför att tillämpning av denna studies resultat i ett bredare perspektiv bör göras med försiktighet. För att minska förareffekten krävs ett gediget studiematerial med många förare.

Systemjämförelse av olika förare och olika trakter lyftes fram som en svaghet i föregående studieled (Jonsson m.fl., 2016). I denna studie har samma förare och maskiner studerats på samma trakt. I analysen av X19 ingick observationer från Jonsson m.fl. (2016), men inverkan av faktorerna bedöms ha kontrollerats. Dock kvarstår svagheter. Längd- och diametermätning med 941:an var inte tillfredsställande och inverkan av detta kan ge en osäkerhet i volymsuppskattningen om i värsta fall ± 5 procent. Osäkerheten bedöms inte vara så stor att resultaten riskeras.

Jämförelsen mellan TMS och X19 i förnygringsavverkning bör omfatta jämförbar utrustning med de största maskinstorlekarna. I denna studie har 941 haft ett 370-aggregat, vilket är äldre men även större än X19:s 365-aggregat. Studiens förare lyfte fram att 370-aggregatet höll de grova stammarna bättre. Samtidigt betonar Per Annemalm, Komatsu (pers.komm.), att 365-aggregatet har yngre teknik och fler matarvalsar och att skillnaden sammantaget bör vara liten.

Drivarsystemet har utvecklats under kort tid i jämförelse med TMS, och lär ha stor potential för utveckling (Wester & Eliasson, 2003; Andersson & Eliasson, 2004; Lindroos, 2011; Ringdahl m.fl., 2012). Vid bedömning av förbättringspotential är det viktigt att se till systemspecifik potential, att produktivitetshöjande förändringar av X19 inte kan höja produktiviteten även för skördare och skotare. Det tvingande och inrutade arbetssättet under upparbetning, där avverkade stammar förs upp till lastbäraren för direktlastning, öppnar för (del-)automation (Jonsson m.fl., 2016). Denna och tidigare studier har visat på konkurrensfördel i klen skog (Hallonborg 1998; 2003; Bergkvist 2007; 2008; 2010; 2012), vilket innebär att flerträdshantering kan förändra skillnaderna mellan X19 och TMS. I denna studie behövde X19 mer tid än 941 för intagning och kran ut. Flerträdshantering skulle därmed kunna medföra en större tidsbesparing för X19 i jämförelse med 941, samtidigt som upparbetning- och lastning riskerar att bli sämre p.g.a. spretande stammar under direktlastningen.

X19 hade signifikant lägre körhastighet än 895 i denna studie. Studiens förare förklarade X19:s lägre hastighet med att risken för att skördaraggregatet skulle börja pendla, en högre hyttposition och högre vikt både tom och full gjorde högre hastighet oergonomisk och riskabel. Tekniska förändringar bör vara möjliga för att öka X19:s körhastighet, så även metodförbättringar som att skifta redskap vid avverkningsplatsen och därmed ha en skotargrip i stället för skördaraggregat i kranspetsen vid körning tom och full.

Kostnader för reparationer och underhåll i studiens kostnadsberäkning är baserade på erfarenhetstal för 941 och 895 och motsvarande maskinstorlekar (Bilaga 3), motsvarande finns inte för X19. I jämförbart utförande har X19 fler komponenter än 941 eller 895 enskilt, vilket lär generera högre kostnader. Tilt- och roterbar lastbärare och snabbfäste är unikt för X19 vid jämförelse med stora slutavverkningskördare och -skotare. Samtidigt nyttjas inte all utrustning hela tiden, vilket medför lägre slitage för exempelvis skördaraggregat och skotargrip än för en skördare eller skotare.

Beräknad kostnad för 895 har varit förhållandevis hög, trots att kalkylen baserats på erfarenhetstal och aktuell kunskap. Nivån kan delvis förklaras med en generell bränsleförbrukningsökning hos skotare de senaste åren (Brunberg, 2013). Till detta tillkommer även beräkningen av flyttar och taktning, vilka är dåligt studerade och därför osäkra delar i kostnadsberäkningarna. Flyttkostnaderna kan variera kraftigt, beroende av bl.a. geografi och turordningsplanering. Taktningen, d.v.s. balansen mellan avverkningsarbetet och skotningsarbetet kan också variera kraftigt, men på ett sätt som är svårare att beräkna. För X19 är taktningen inbyggd i systemet. Om en trakt exempelvis har långt terrängtransportavstånd lägger X19 mer tid på skotning i relation till totaltid på bekostnad av avverkningstiden. För TMS är taktningskostnaden mer komplex och det finns många alternativ. Denna studie har antagit mer ob-ersättning och övertidsersättning p.g.a. fler timmar för den sämst presterande maskinen. Taktning för TMS lär ha potential att effektiviseras och bör studeras vidare.

Även metodik har förbättringspotential. Med direktlastning hade X19 generellt fler sortiment per lass än 895, fler krancykler per lass (Tabell 1, Bilaga 2) och statistiskt signifikant 41 procent högre tidsåtgång i lossningsarbetet. Under denna studie var all lossning dubbelsidig. Tidsökningen bör bli starkare med fler sortiment på lastbäraren om lossning sker enkelsidigt. Framtida studier bör även omfatta enkelsidiga avlägg.

I denna studie avverkade båda förarna enkelsidigt. I en studie av Andersson & Eliasson (2004) visades att enkelsidig avverkningsmetodik är effektivast. Andersson & Eliasson (2004) drog även slutsatsen att potentialen för vidare utveckling av avverkningsmetodiken är betydande. Metodiken hyser förbättringspotential, där saker som uppställningsplatser innanför eller utanför skogskanten, slagbredd, sortimentshantering är några saker som bör studeras vidare. Direktlastningen medför även en svårare hantering av sortimenten, både under upparbetningen och lossningen, vilket lär rymma stor potential till tidsbesparing.

Det har gjorts många studier av drivare avseende tidsåtgång och kostnader vid drivningsarbete (exv. Bergkvist, 2003), men även virkeskvalitet (Ågren m.fl., 2016) och metodik (Andersson & Eliasson, 2004). För jämförelse mellan drivarsystemet och TMS kvarstår dock luckor. Det finns systemunika egenskaper som medför skillnader på administrativ nivå. Antalet flyttar p.g.a. antalet maskiner i systemet är ett exempel, vilket har berörts i denna studie. Men det lär även finnas skillnader i turordningsplaneringen, vägunderhåll och snöröjning, vilka är intressanta för vidare analys.

Komatsu X19 förbrukade 35 procent mindre diesel än norm för skördare och skotare och TMS 39 procent mindre. Då bränsleförbrukningsnivån nästan är densamma för X19 som för TMS och få observationer noterats, kan ingen skillnad konstateras. I en studie av Bergkvist (2007) förbrukade drivaren 32 procent mindre diesel än skördare och skotare, skillnaden mellan systemen var alltså påtagligt större än i denna studie. Gissningsvis kan det förklaras av ett litet dataunderlag i denna studie och maskinutveckling.

För uthålligt hög produktivitet i skogsbruket krävs att förare trivs i arbetet för att minska risken för konkurrens från andra branscher, vidare är det viktigt i det dagliga arbetet att onödiga hinder elimineras och att tempot kan behållas på en hög nivå. Intervjustudier av maskinförare som kört drivare, skördare och skotare skulle därmed vara motiverade i framtiden, för att fånga upp upplevd arbetsbelastning, trivsel m.m.

Slutsatser

1. Med studiens antaganden beräknas X19 potentiellt ha >5 procent lägre drivningskostnad än TMS då medelstamvolymen understiger 0,31 m³fub per stam och enkelt terrängtransportavstånd understiger 220 meter vid fem sortiment per objekt.
2. Investeringskostnaden är en kritisk faktor för X19.
3. Som ett nytt maskinkoncept bedöms X19 ha stor utvecklingspotential.

Referenser

- Andersson, G. 1989. Kombinationsmaskin skördare-skotare – en ny maskingeneration? Resultat Nr. 17. Skogsarbeten.
- Andersson, J. & Eliasson, L. 2004. Effects of three harvesting work methods on harwarder productivity in final felling. *Silva Fennica* 38(2).
- Bergkvist, I., Hallonborg, U. & Nordén, B. 2003. Valmet 801 Combi i gallring och slutavverkning med vridbart lastutrymme för fallande längder. Arbetsrapport Nr. 526. Skogforsk.
- Bergkvist, I. 2007. Drivare i slutavverkning – direktlastning och låg bränsleförbrukning är starka kort. Resultat Nr. 15. Skogforsk.
- Bergkvist, I. 2008. Direktlastande uppstickare kan bryta skördare-skotaresystemets dominans. Resultat Nr. 9. Skogforsk.
- Bergkvist, I. 2010. Drivare i svenskt skogsbruk. Redogörelse Nr. 1. Skogforsk.
- Bergkvist, I. 2012. Direktlastande system – en utvärdering. Resultat Nr. 18. Skogforsk.
- Brunberg, T. 2004. Underlag till produktionsnormer för skotare. Redogörelse Nr. 3. Skogforsk.

- Brunberg, T. 2013. Bränsleförbrukningen hos skogsmaskiner 2012. Arbetsrapport Nr. 789. Skogforsk.
- Brunberg, T. 2014. Skogsbrukets produktivitet 2008–2013. Nyhetsartikel Nr. 50. Skogforsk.
- Granlund, P. & Thor, M. 2005. Vibrationsmätningar på drivare och skotare. Arbetsrapport Nr. 601. Skogforsk.
- Hallonborg, U. & Nordén, B. 2000. Räkna med drivare i slutavverkning. Resultat Nr. 21. Skogforsk.
- Hallonborg, U. 1998. Drivare – en analys av maskiner för avverkning och transport. Arbetsrapport Nr. 392. Skogforsk.
- Hallonborg, U. 2003. Förarlösa skogsmaskiner kan bli lönsamma. Resultat Nr. 9. Skogforsk.
- Hofsten, von, H., Lundström, H., Nordén, B. & Thor, M. 2005. System för uttag av skogsbränsle. Arbetsrapport Nr. 597. Skogforsk.
- Jonsson, R., Jönsson, P. & Lundström, H. 2016. Prestation och kostnader för slutavverkningsdrivare med snabbfäste. Arbetsrapport Nr. 911. Skogforsk.
- Kuitto, P.J., Keskinen, S., Lindroos, J., Ojala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Teräväinen, J. 1994. Mechanized cutting and forest haulage. Metsäteho Report 410.
- Kärhä, K., Rönkkö, E. & Gumse, S. I. 2004. Productivity and cutting costs of thinning harvesters. *International Journal of Forest Engineering*, 15(2), 43–56.
- Lindroos, O. 2011. Evaluation of technical and organizational approaches for directly loading logs in mechanized cut-to-length harvesting. *Forest Science* 58(4).
- Purfürst, F. T. 2010. Learning curves of harvester operators. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 31(2), 89–97.
- Ringdahl, O., Hellström, T. & Lindroos, O. 2012. Potentials of possible machine systems for directly loading logs in cut-to-length harvesting. *Canadian Journal of Research*, 42: 970–985.
- Väätäinen, K., Liiri, H., & Röser, D. 2006. Cost-competitiveness of harwarders in CTL-logging conditions in Finland - a discrete event simulation study at the contractor level. *Proceedings of the International Precision Forestry Symposium*, Stellenbosch University; s. 451–463.
- Wester, F. & Eliasson, L. 2003. Productivity in final felling and thinning for a combined harvester-forwarder (harwarder). *International Journal of Forest Engineering*, 14:2, 45–51.
- Ågren, K., Hannrup, B., Jonsson, R., Jönsson, P., Lundström, H. & Nordström, M. 2016. Utvärdering av dimensionsmätning och förekomst av kapsprickor vid avverkning med Komatsu X19. Arbetsrapport Nr. 892. Skogforsk.

INTERNET

- Bildström, M. 2014. Stordrivare testas i Norsjöskogarna. *Tidningen Skogen* 9. <http://www.skogen.se/nyheter/stordrivare-testas-i-norsjoeskogarna> (Hämtad 2016-02-25).
- Jonsson, R. 2015. Nya drivaren överraskar positivt. Skogforsk. <http://www.skogforsk.se/nyheter/2015/nya-drivaren-overraskar/> (Hämtad 2016-02-23).

SAS 9.4 Software.

http://www.sas.com/sv_se/software/sas9.html

(Hämtad 2016-01-08)

Stibor 90. 2015. November. Sveriges Riksbank.

<http://www.riksbank.se/sv/Rantor-och-valutakurser/Sok-rantor-och-valutakurser/?g5-SEDP3MSTIBOR=on&from=2015-10-30&to=2015-11-30&f=Month&cAverage=Average&s=Comma>

(Hämtad 2016-04-28)

PERSONLIG KOMMUNIKATION

Annemalm, Per, Komatsu Forest AB (2016).

Bilaga 1

Momentindelning

Under tidsstudierna har endast ett moment noterats åt gången, om flera moment pågått samtidigt har momentet med högst prioritet valts, där kranarbete haft högst prioritet och körning lägst. Momenten beskrivs utifrån identifiering av vad som sker vid start och vid slut. Det mesta av drivningsarbetet görs i tydliga cykler och därför är sällan både start och stopp beskrivet. Saknas beskrivning av start återfinns det i föregående moment i cykeln. Momentens innehåll är i många fall lika för mer än en maskin och studiens samtliga moment anges därför i samma tabell. (Tabell 1)

Tabell 1.

Momentindelning för X19, 941 och 895. Beskrivningar av ingående moment, vilka maskiner som arbetar med dem, momentens prioritet samt en beskrivning av när de börjar och slutar.

Moment	Maskin	Beskrivning
Avverkningsarbete		
Kran ut	X19, 941	Från att topp släpps till att aggregat är 0,5 meter från avverkningsstam.
Fällning	X19, 941	Slutar när avverkningsstammen lättar från stubben.
Intagning	X19, 941	Slutar när aggregatet börjar mata stammen.
Kvistning/ kapning	X19, 941	Slutar när sista virkesbiten kapas.
Topp	X19, 941	Slutar när toppen släpps ur aggregatet.
Kran in	941	Slutar när kranen passerar framför maskinen.
Justering	X19	Justering av virke på lastbäraren.
Körning	X19, 941	Börjar när hjulen börjar snurra inför flytt till ny uppställningsplats och slutar när hjulen stannar.
Vridning av lastbärare	X19	Börjar när lastbäraren börjar röra sig och slutar då lastbäraren stannar.
Röjning	X19, 941	Röjning av underväxt med aggregat. Börjar när aggregatet är 0,5 meter från underväxten och slutar när aggregatet släpper underväxten.
Körning till/från	941	Börjar när hjulen börjar snurra inför transportsträcka mellan avverkningsplats och koja, slutar när hjulen stannar.
Skotningsarbete		
Kran ut	895	Från att grip släppt virke tills gripen vidrör virke på marken.
Gripa	895	Slutar när gripen lyfts med virke i gripen.
Sammanföring	895	Från att grip vidrör virke tills grip lyfts med virke i gripen.
Kran in	895	Slutar när gripen är mitt över lasset.
Jämndragning	895	Jämndragning av virket mot grinden under lastning
Släppa	895	Slutar när virkesknippe släppts.
Tillrättläggning	X19, 895	Justering av virke på lastbäraren.
Tomkörning	X19, 895	Körning från avlägg till lastningsplats.
Körning under lastning	895	Körning under pågående lastning. Från att hjulen börjar snurra tills de slutar snurra vid nästa uppställningsplats.
Körning full	X19, 895	Körning från lastningsplats med fullt lass till avlägg.
Av aggregat	X19	Från att maskinen saktar in inför redskapsskifte tills aggregatet lossats från kranspetsen.
På grip	X19	Slutar när maskinen återupptar körning mot avlägg med gripen monterad.
Av grip	X19	Från att maskinen saktar in inför redskapsskifte tills gripen lossats från kranspetsen.
På aggregat	X19	Slutar när maskinen återupptar körning mot avverkningsplats med aggregatet monterat.
Lossning	X19, 895	Från att gripen flyttas mot lastbäraren inför första krancykeln i lossningen tills gripen återgår efter lossningens sista krancykel inför transport mot avverknings-/ lastningsplats.
Körning vid avlägg	X19, 895	Körning vid avlägg. Från att hjulen börjar snurra tills de slutar snurra vid nästa uppställningsplats.
Gemensamma moment		
Övrigt	X19, 941, 895	Övrigt arbete som är nödvändigt för drivningen, exv. risning av basväg.
Störning	X19, 941, 895	Arbete som inte är nödvändigt för drivningen, exv. telefonsamtal.

Bilaga 2

Rådata

Insamlad tidsstudiedata har sammanställts tillsammans med nyckelvariabler. Observera att tiderna är ojusterade medeltider, detta innebär att direkt jämförelse saknar statistisk säkerhet. All lossning har skett vid dubbelsidigt avlägg. (Tabell 1)

Tabell 1.

Tider fördelat på moment för X19, 941 och 895. Minuter anges med decimal.

	X19		941		895	
Förare	A	B	A	B	A	B
Bestandsvariabler						
Medelstamvolym	0,38	0,38	0,32	0,36	0,32	0,36
Enkelt terrängtransportavstånd	262	274	-	-	387	319
Antal sortiment per lass	4,2	4	-	-	2,8	3,1
Antal sortiment på objektet	5	5	-	-	5	5
Volymtätet, m ³ fub/ha	159	172	238	saknas	238	saknas
Stamantal/ha	413	451	690	saknas	690	saknas
Ytstruktur	2	2	2	2	2	2
Lutning	1	1	1	1	1	1
Avverkningsarbete, sekunder/stam						
Kran ut	3,9	3,4	3,3	3,3	-	-
Fällning	3,3	2,7	2,3	2,2	-	-
Intagning	4,9	4	3,2	2,5	-	-
Kvistning/ kapning	14,8	14,1	10,3	11,4	-	-
Topp	1,1	1,1	2,3	1,8	-	-
Kran in	-	-	0,1	0,1	-	-
Körning	7,1	5,9	3,2	2,6	-	-
Vridning av lastbärare	1,5	0,9	-	-	-	-
Röjning	0,4	0,2	-	-	-	-
Körning till/från	-	-	2,4	1	-	-
Skotningsarbete, minuter/lass						
Kran ut	-	-	-	-	2,59	2,22
Gripa	-	-	-	-	2,19	1,99
Sammanföring	-	-	-	-	0,24	0,44
Kran in	-	-	-	-	4,58	3,21
Jämndragning	-	-	-	-	0,19	0,1
Släppa	-	-	-	-	1,91	1,54
Tillrättläggning	1,6	0,4	-	-	1,05	0,44
Tomkörning	4,57	4,91	-	-	6,88	5,54
Körning under lastning	-	-	-	-	5,37	2,38
Körning full	4,91	5,56	-	-	6,02	6,21
Av aggregat	0,59	0,39	-	-	-	-
På grip	0,28	0,35	-	-	-	-
Av grip	0,24	0,21	-	-	-	-
På aggregat	0,58	0,3	-	-	-	-
Lossning	8,04	7,06	-	-	6,07	4,97
Körning vid avlägg	0,54	0,97	-	-	0,55	0,71
Antal krancykler i lossning	27	28	-	-	18	19
Gemensamma moment, X19 och 895 redovisas som minuter/lass, 941 som sekunder/stam						
Övrigt	0,1	0,03	0,36	0,16	0,04	0,02
Störning	4,49	0,1	1,29	1,36	1,9	1,14
Totaltid, X19 och 895 redovisas som minuter/lass, 941 som sekunder/stam						
Samtliga moment utom röjning och störning	55,3	50,1	26,6	24,2	37,7	29,8

Bilaga 3

Grundscenari

Allt presenterat resultat är beräknat utifrån grundscenariet med variabler enligt Tabell 1 där annat ej anges. Koefficienterna i grundscenariet är valda utifrån genomsnittliga värden för skogsavverkningar i främst norra Sverige. Drivaren Komatsu X19 med snabbfäste, 365-aggregat och 0,36 m² grip benämns X19, Komatsu 941 med 370-aggregat benämns 941 och Komatsu 895 benämns 895.

Med ursprung:

- Drivargruppen avses diskussioner inom gruppen som lett till samlat medelvärde eller uppskattning om rimligt värde.
- Komatsu Forest AB avses hypotetiska kalkylvärden, särskilt för X19 där slutgiltiga kostnader inte kan fastställas förrän seriemässig produkt är under framtagning.
- Holmen Skog AB avses värden som används i företagets kostnadsuppskattningar.
- SCA Skog AB avses värden som används i företagets kostnadsuppskattningar.

Tabell 1.
Koefficienter i grundscenariet.

Koefficient	Värde	Ursprung
Bestånds- och maskinförutsättningar		
Traktstorlek, m ³ fub/år	1 000	Drivargruppen
Enkelt terrängtransportavstånd, meter	400	
Medelstamvolym, m ³ fub	0,34	
Antal sortiment/objekt	5	
Stamtäthet, antal stam/ha	600	
Ytstruktur	2	Studiemedelvärde
Lutning	1	Studiemedelvärde
Stråkbredd X19, meter	10	
Laststorlek 895, m ³ fub/lass	21,7	Studiemedelvärde
Maskinutnyttjande		
TU X19, %	87	Drivargruppen
TU 941, %	87	Brunberg, 2014
TU 895, %	90	Brunberg, 2014
Ställtid vid flytt, G ₁₅ -h/flytt	4	Drivargruppen
Fasta maskinkostnader		
Investeringskostnad, X19, kr	6 000 000	Komatsu Forest AB
Investeringskostnad, 941, kr	4 000 000	Komatsu Forest AB
Investeringskostnad, 895, kr	3 500 000	Komatsu Forest AB
Ekonomisk livslängd, G ₁₅ -timmar	15 000	Drivargruppen
Restvärde på hela investeringen för X19, 941 och 895, %	22	Drivargruppen
Försäkring, X19, kr/år	25 000	SCA Skog AB
Försäkring, 941, 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), kr	70 000	Drivargruppen
Övriga fasta kostnader, TMS (omfattar kostnaden för 1,5 vagn), kr	105 000	Drivargruppen
Rörliga maskinkostnader		
Flyttkostnad (trailerkostnad), kr/flytt	4 000	Drivargruppen
Dieselförbrukning X19, liter/G ₁₅ -h	17	Drivargruppen
Dieselförbrukning 941, liter/G ₁₅ -h	17	Komatsu Forest AB
Dieselförbrukning 895, liter/G ₁₅ -h	17	Komatsu Forest AB
Oljeförbrukning X19, liter/G ₁₅ -h	0,7	Komatsu Forest AB

Fortsättning på Tabell 1:

Oljeförbrukning 941, liter/G ₁₅ -h	0,75	Komatsu Forest AB
Oljeförbrukning 895, liter/G ₁₅ -h	0,4	Komatsu Forest AB
Rep och underhåll X19, kr/G ₁₅ -h	190	Drivargruppen
Rep och underhåll 941, kr/G ₁₅ -h	200	Drivargruppen
Rep och underhåll 895, kr/G ₁₅ -h	160	Drivargruppen
Globala värden		
Ränta, Stibor 90 + 3 %, %	2,63	Stibor 90
Dieselpri exl. moms, kr/liter	10,2	Holmen Skog AB
Smörj- och hydraulolja, kr/liter	30	Holmen Skog AB
Personalkostnader		
Grundlön (inkl. kvalificerade tillägg och semesterlön), kr/Utnyttjad timme (kr/U-h)	160	Drivargruppen
Sociala påslag (lagstadgade påslag, sjuklön, annan semestergrundande frånvaro, arbetstidskonto), %	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 obekväm 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

Statistikanalyser X19

Statistikanalysen har gjorts i SAS genom en blandad modell (mixed model) med förare som slumpmässig variabel (random variable). Ökat antal sortiment per lass ökar total tidsåtgång (Tabell 1).

Tabell 1.
Total tidsåtgång för Komatsu X19.

Solution for Fixed Effects									
Effect	Antal sortiment per lass	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > t	Alpha	Lower	Upper
Intercept		122,33	13,7444	1	8,90	0,0712	0,05	-52,3059	296,97
Antal sortiment/lass	2	-39,7269	5,5687	28	-7,13	<,0001	0,05	-51,1339	-28,3199
Antal sortiment/lass	3	-13,2537	4,4995	28	-2,95	0,0064	0,05	-22,4705	-4,0369
Antal sortiment/lass	4	-8,5739	6,9609	28	-1,23	0,2283	0,05	-22,8326	5,6848
Antal sortiment/lass	5	0
Enkelt terrängtransp		0,1944	0,01782	28	10,91	<,0001	0,05	0,1579	0,2309
Virkeskoncentration		-28,9465	35,8139	28	-0,81	0,4258	0,05	-102,31	44,4150
Invers av medelstamv		32,7514	3,6223	28	9,04	<,0001	0,05	25,3314	40,1715

I studiematerialet har antalet sortiment varierat mellan 2 och 5 sortiment per lass. Tidsskillnaden har varit signifikant mellan alla sortimentsantal utom mellan 3 och 4 respektive 4 och 5 sortiment per lass. Ökat sortimentsantal per lass ledde till ökad tidsåtgång. (Tabell 2)

Tabell 2.

Tukey-Kramer T-test för inverkan av antal sortiment per lass på total tidsåtgång.

Differences of Least Squares Means												
Effect	Antal sortiment per lass	Antal sortiment per lass	Enkelt terrängtransportavstånd	Virkeskoncentration	Invers av medelstamvolym	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > t	Adjustment	Adj P
Antal sortiment	2	3	200	0,20	2,90	-0,26,4732	4,6383	28	-5,71	<,0001	Tukey-Kramer	<,0001
Antal sortiment	2	4	200	0,20	2,90	-31,1530	6,8719	28	-4,53	<,0001	Tukey-Kramer	0,0005
Antal sortiment	2	5	200	0,20	2,90	-39,7269	5,5687	28	-7,13	<,0001	Tukey-Kramer	<,0001
Antal sortiment	3	4	200	0,20	2,90	-4,6798	6,3321	28	-0,74	0,4660	Tukey-Kramer	0,8805
Antal sortiment	3	5	200	0,20	2,90	-13,2537	4,4995	28	-2,95	0,0064	Tukey-Kramer	0,0308
Antal sortiment	4	5	200	0,20	2,90	-8,5739	6,9609	28	-1,23	0,2283	Tukey-Kramer	0,6125

Bilaga 5

Statistikanalyser 941

Statistikanalysen har gjorts i SAS genom en blandad modell (mixed model) med förare som slumpmässig variabel (random variable).

Tabell 1.

Tidsåtgång i cmin för skördare med medelstamvolym som beroende variabel.

Solution for Fixed Effects								
Effect	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr > t	Alpha	Lower	Upper
Intercept	30,8670	2,2297	1	13,84	0,0459	0,05	2,5361	59,1978
m ³ fub/stam	32,3377	0,9132	1 087	35,41	<,0001	0,05	30,5459	34,1296

Bilaga 6

Variansanalys (ANOVA)

system 1 = drivare

system 2 = TMS

sträcka 1 = körning utan lass

sträcka 2 = körning med lass

General Linear Model: hastighet versus förare; sträcka; system

Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Förare	Fixed	2	1; 2
sträcka	Fixed	2	1; 2
system	Fixed	2	1; 2

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
system	1	0,56794	0,567936	9,17	0,004
sträcka	1	0,13279	0,132792	2,14	0,148
Förare	1	0,00006	0,000056	0,00	0,976
Förare*sträcka*system	1	0,25620	0,256200	4,14	0,046
Förare*sträcka	1	0,11658	0,116583	1,88	0,175
Förare*system	1	0,02389	0,023886	0,39	0,537
sträcka*system	1	0,10768	0,107676	1,74	0,192
Error	62	3,71698	0,061950		
Total	69	4,88967			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,248897	23,98%	15,11%	1,17%

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

system	N	Mean	Grouping
2	34	0,656185	A
1	36	0,497793	B

Förare*sträcka*system	N	Mean	Grouping
1 1 2	8	0,871191	A
2 2 2	9	0,646466	A B
2 1 2	9	0,616286	A B
2 1 1	9	0,523595	A B
1 2 2	8	0,497002	A B
1 2 1	9	0,479056	B
2 2 1	9	0,540674	B
1 1 1	9	0,447847	B

sträcka*system	N	Mean	Grouping
1 2	17	0,736241	A
2 2	17	0,576130	A B
1 1	18	0,485721	B
2 1	18	0,509865	B

Means that do not share a letter are significantly different.

General Linear Model: avlastning versus förare; system

Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Förare	Fixed	2	1; 2
system	Fixed	2	1; 2

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Förare	1	206,07	206,068	6,86	0,013
system	1	970,10	970,102	32,31	0,000
Förare*system	1	1,95	1,946	0,06	0,801
Error	32	960,71	30,022		
Total	35	2138,83			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
5,47925	55,08%	50,87%	43,15%

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

system	N	Mean	Grouping
1	18	35,8133	A
2	18	25,4311	B

Förare*system	N	Mean	Grouping
2 1	9	37,9733	A
1 1	9	33,6533	A B
2 2	9	28,0562	B C
1 2	9	22,8061	C

Förare	N	Mean	Grouping
2	18	33,0147	A
1	18	28,2297	B

Means that do not share a letter are significantly different

Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2015

År 2015

- Nr 856 Widinghoff, J. 2015. Logistiklösning för delkvistat sortiment – Lätta skyddsplåtar på virkesbilar för transport av träddeklar och delkvistade sortiment. – Lightweight side-shields on timber trucks transporting partly delimbed energy wood. 15 s.
- Nr 857 Hannrup B, Bhuiyan N. Möller J.J. 2015. Rikstäckande utvärdering av ett system för automatiserad gallringsuppföljning. – Nationwide evaluation of a system for automated follow-up of thinning. 56 s.
- Nr 858 Frisk, M., Rönnqvist, M. & Flisberg, P. 2015. Vägrust – Projekt rapport. 2015. – Vägrust – Project Report. 48 s.
- Nr 859 Asmoarp, V. & Jonsson, R. 2015. Fokusveckor 2014. Bränsleuppföljning för tre fordon inom ETT-projektet, ST-RME, ETT1 och ETT2. – Monitoring fuel consumption of three rigs in the ETT project: ST-RME, ETT1 and ETT2 42 s.
- Nr 860 Johannesson, T. 2015. Ny teknik för askåterföring i skogsmark. – New technology for ash recycling on forest floor. 14 s.
- Nr 861 Asmoarp, V., Nordström, M. & Westlund, K. 2015. Stämmer väglagervolymer? – En fallstudie inom projektet "Skogsbrukets digitala kedja". – "Are roadside stock volumes correct? – A case study in the Digital Chains in Forestry project. 17 s.
- Nr 862 Möller, J.J., Bhuiyan, N. & Hannrup, B. 2015. Utveckling och test av beslutsstöd vid automatiserad gallringsuppföljning. – Development and test of decision-support tool for automated monitoring of thinning 38 s.
- Nr 863 Jonsson, R. 2015. Prestation och kvalitet i blädning med skördare och skotare. – Performance and costs in selective harvesting with harvester and forwarder. 27 s.
- Nr 864 Englund, M., Adolfsson, Niklas, Mörk, A., & Jönsson, P. 2015. Distribuerad arbetsbelysning – LED öppnar nya möjligheter för belysning hos arbetsmaskiner. – Distributed work lighting – LED lamps improve lighting on forest and agricultural machines. 20 s.
- Nr 865 Hofsten von, H. & Funck, J. 2015. Utveckling av HCT-fordon i Sverige. – HCT, heavier vehicle, truck design, ST, ETT. 28 s.
- Nr 866 Fridh, L. 2015. Utvärdering av fukthaltsmätare PREDIKTOR Spektron Biomass. – Evaluation of the Prediktor Spektron Biomass moisture content analyser. 10 s.
- Nr 867 Fridh, L. & Öhgren, J. 2015. Förstudie Automatisk skäppmätning av flis med laser. 20 s.
- Nr 868 Eriksson, A., Hofsten von, H. & Eliasson, L. 2015. Systemkostnader, logistik och kvalitetsaspekter för sju försörjningskedjor för stubbränslen. – System costs, logistics and quality aspects relating to seven supply chains for stump fuel. 29 s.
- Nr 869 Englund, M., Lundström, H., Brunberg T. och Löfgren, B. Utvärdering av Head up-display för visning av apteringsinformation i slutavverkning. 15 s.
- Nr 870 Löfroth, C. 2015. ETTaero – En förstudie av aerodynamisk utformning av skogsfordon. – A pilot study of aerodynamic design of forest vehicles 32 s.
- Nr 871 Grönlund, Ö., Iwarsson Wide, M., Hjerpe, T. och Sonesson, J. 2015. Skadeförekomst efter tidig gallring. – Damage after early thinning. 14 s.
- Nr 872 Fogdestam, N. & Löfroth, C. 2015 ETTdemo, demonstration av ETT- och ST-fordon. – ETTdemo, demonstration of ETT- and ST-vehicles. 34 s.
- Nr 873 Fridh, L. 2015. Produkttegenskaper för skogsbränsle. – Förslag till indelning, struktur och definitioner. – Forest fuel product characteristics- proposal for categories, structure and definitions. 46 s.

- Nr 874 Enström, J. 2015. Möjligheter till inrikes sjötransporter av skogsbränsle. – Possibilities for coastal maritime transport of forest fuel in Sweden. 22 s.
- Nr 875 Grönlund, Ö. & Iwarsson Wide, M. 2015. Uttag av skogsbränsle vid avveckling av låg skärmar av björk. – Harvest of forest fuel when birch shelterwoods are removed. 15 s.
- Nr 876 Jacobson, S. 2015. Lågskärm av björk på granmark – Modellerings av beståndsutveckling och ekonomisk analys. – The use of birch as a shelter in young Norway spruce stands – Modelling stand development and economic outcome. 39 s.
- Nr 877 Grönlund, Ö., Iwarsson Wide, M., Englund, M. & Ekelund, F. 2015. Sektionsgallring en arbetmetod för täta klena gallringar. – Thinning in Sections – a work method for small-tree harvest. 17 s.
- Nr 878 Eliasson, L. & Nilsson, B. 2015. Skotning av GROT direkt efter avverkning eller efter hyggeslagring. – Forwarding of logging residue immediately after felling or after stor age on the clear-cut. – Effects on nutrient extraction, needle shedding, and moisture content. 10 s.
- Nr 879 Eriksson, B., Widinghoff, J., Norin K. & Eliasson, L. 2015. Processkartläggning – Ett verktyg för att förbättra försörjningskedjor. – Process mapping – a tool for improving supply chains. 46 s.
- Nr 880 Möller, J.J., Nordström, M. & Arlinger, J. 2015. Förbättrade utbytesprognoser. – En förstudie genomförd hos SCA, Sveaskog och Södra. – Improved yield forecasts – a pilot study by SCA, Sveaskog and Södra. 14 s.
- Nr 881 von Hofsten, H. 2015. Vägning med hjälp av inbyggda vågar i fjädringen på lastbilar. – Payload weighing using onboard scales connected to the air suspension of trucks. 10 s.
- Nr 882 Rosvall, O., Kroon, J. & Mullin, T.J. 2015. Optimized breeding strategies at equivalent levels of population diversity. 61 s.
- Nr 883 Högbom, L. & Rytter, R.-M. 2015. Markkemi och fastläggning av C och N i bestånd med snabbväxande trädslag - Etapp 2. – Slutrapport till Energimyndigheten 2015. – Soil chemistry and C and N sequestration in plantations with fast-growing tree species – Phase 2. – Final report to The Swedish Energy Agency 2015. 17 s.
- Nr 884 Hannrup, B., Andersson, M., Henriksen, F., Högdahl, A., Jönsson, P. & Löfgren, B. 2015. Utvärdering av V-Cut – en innovation med potential att minska förekomsten av kapsprickor. – Evaluation of V-Cut – an innovative saw bar with potential to reduce the occurrence of bucking splits. 32 s.
- Nr 885 Willén E. & Andersson, G. 2015. Drivningsplanering. En jämförelse mellan sju skogsföretag – A comparison of seven forest companies 2015. 31 s. + Bilaga 2-8.
- Nr 886 Johansson, F. 2015. Kontinuerlig uppföljning av drivmedelsförbrukning och lastfyllnadsgrad för ETT- och ST-fordon 2014. – Continual monitoring of fuel consumption and load utilisation of ETT and ST vehicles 21 s.
- Nr 887 Högberg, K.A. 2015. Selektionseffekter vid förökning av gran med somatisk embryogenes. – Selection effects of somatic embryogenesis in propagation of Norway spruce. 11 s.
- Nr 888 Enström, J. & von Hofsten, H. 2015. ETT-Chips 74-tonne trucks – Three 74-tonne chip trucks monitored in operation over one year. 23 s.
- Nr 889 Rytter, L., Stener, L.G. 2015. Gråal och hybrid alder.-En potential för ökad energiinriktad produktion i Sverige. – Grey alder and hybrid alder-Potentials for increased biomass production for energy in Sweden. 28 s.
- Nr 890 Asmoarp, V. & Enström, J. 2015. Fokusveckor 2015-Bränsleuppföljning för ETT 74 tons flisfordon inom projektet ETT-Flis. – Focus Weeks 2015 Monitoring fuel consumption of a 74-tonne chip truck in the ETT project. 25 s.
- Nr 891 Johannesson, T., Enström J. & Ohls, J. 2015. Test av paraffinolja för att motverka fastfrysning av flis i containrar. – Test of paraffin oil to prevent wood chips freezing onto surfaces in steel containers. 5 s.

År 2016

- Nr 892 Ågren, K., Hannrup, B., Jonsson, R., Jönsson, P., Lundström, H. och Nordström, M. Utvärdering av dimensionsmätning och förekomst av kapsprickor vid avverkning med Komatsu X19. – Evaluation of measurement quality and frequency of bucking splits in harvesting with the Komatsu X19 Harwarder. 21 s.
- Nr 893 Ågren, K., Möller, J. J. och Bhuiyan, N. 2016. Utveckling av en standardiserad metod för kalibrering av volymsbestämning vid avverkning med flerträdshanterande skördaraggregat. – Development of a standardised method for calibrating volume measurements when using a multi-tree handling harvester head. 27 s.
- Nr 894 Almqvist, C. & Rosenberg, O. 2016. Bekämpning av grankotterost (*Thekopsora areolata*) med fungicider – Försök utförda 2014 och 2015. – Control of cherry spruce rust infection (*Thekopsora areolata*) by use of fungicides – Trials performed in 2014 and 2015. 10 s.
- Nr 895 Westin, J., Helmersson, A. & Stener, L.-G. 2014. Förädling av lärk i Sverige. – Kunskapsläge och material. Genetic improvement of larch in Sweden – knowledge status and seed materias. 55 s.
- Nr 896 Mohtashami, S., Nordlund, S., Krook, M., Bergkvist, I., Ring, E. & Högbom, L. 2016. Körskador vid slutavverkning – en inventeringsstudie i Mälardalen. 16 s.
- Nr 897 von Hofsten, H. & Eliasson, L. 2016. Skotning av grot och rundved med en kombiskotare eller med två dedikerade skotare. 8 s.
- Nr 898 Rytter, L. & Mc Carthy, R. 2016. – Uthållig produktion av hybridasp efter skörd – Slutrapport 2016 för Energimyndighetens projekt 30346. - Sustainable production of hybrid aspen after harvest – Final Report 2016 from Swedish Energy Agency Project 30346.
- Nr 899 Bhuiyan, N., Möller, J.J., Hannrup, B. & Arlinger, J. 2016. Automatisk gallringsuppföljning. – Arealberäkning samt registrering av kranvinkel för identifiering av stickvägsträd och beräkning av gallringskvot – Automatic follow-up of thinning-stand area estimation and use of crane angle data to identify strip road trees and calculate thinning quotient. 47 s.
- Nr 900 Pettersson, F. 2016. Effects of type of thinning and strip road distance on timber production and economy in the Scots pine field experiment at Kolfallet. Results after two thinnings and a 20-year study period.
- Nr 901 Eliasson, L., Mohtasami, S. & Eriksson, A. 2016. Analys av ett högproduktivt flissystem – Analysis of factors affecting a high productive chip supply system. 20 s.
- Nr 902 Enström, J., Asmomar, V., Davidsson, A., Johansson, F., Jönsson, P. & Mohtashami, S. 2016. Transportsystemet Inlandsbanan – The Inlandsbanan transport system. 50 s.
- Nr 903 Klingberg, A., Persson, T. & Sundblad, L.G. 2016. Projektrapport – Fröskörd från tallfröplantage T2 Alvik – Effekt av inkorsning på planteringsresultatet i fält (projekt nr 244). – Project report Harvests from the T2 Alvik orchard – Effect of cross-pollination on operational planting outcome.
- Nr 904 Friberg, G. & Bergkvist, I. 2016. Så påverkar arbetsrutiner och markfuktighetskartor körskador i skogsbruket – How operational procedures and depth-to-water maps can reduce damage on soil and water and rutting in the Swedish forestry 28 s.

- Nr 905 Berlin, M. & Friberg, G. 2016. Proveniensval av Svartgran i Mellansverige. – Provenance choice of black spruce in central Sweden.. 22 s.
- Nr 906 Grönlund, Ö. 2016. Kontrollmätningens utformning vid chaufförers travmätning – Quality control procedure for stack measurement by truck drivers. 16 s.
- Nr 907 Asmoarp, V., Flisberg, P., Rönnqvist, M. & Davidsson, A. 2016. Förslag på ett för skogsbruket prioriterat BK-4vägnät.
- Nr 908 Bhuiyan, N., Hannrup, B., Nordström, M. & Larsolle, A. 2016. Beslutsstöd för stubbskörd.– Utveckling av ett prototypprogram för snabbare implementering i skogsbruket. – Decision-support tool for stump harvest. – Development of prototype software for faster implementation in forestry. 22 s.
- Nr 909 Möller, J.J., Siljebo, W., Hannrup, B. & Bhuiyan, N. 2016. Modul för beräkning av skogsbränsle baserat på skördardata. – hprCM version 1.0 – Harvested Production Calculation Module baserad på StanForD 2010 version 3.2.
- Nr 910 von Hofsten, H., Eliasson, L., Lundström, H. & Granlund, P. 2016. Prestation och bränsleförbrukning för två stora trumhuggar avsedda för flisning på terminaler. – Production and fuel consumption for two large drum chippers. 14 s.
- Nr 911 Jonsson, R., Jönsson, H. & Lundström 2016. Prestation och kostnader för slutavverkningsdrivare Komatsu X19 harwarder med snabbfäste. – Performance and cost in final felling for Komatsu X19. Harwarder with quick hitch. 40 s.
- Nr 912 Jonsson, R., Jönsson, P., & Manner J., Björheden, R. & Lundström, H. Prestation och kostnader för drivaren Komatsu X19 och tvåmaskinsystem med Komatsu 941 och 895 i grov slutavverkning – Performance and costs for the Komatsu X19 harwarder compared to Komatsu 941/895 harvester/forwarder in large size final felling. 38 s.
- Nr 913 Jönsson, P., Andersson, M., Hannrup, P., Henriksen, F. & Högdahl, A. 2016. Avverkningskapacitet för sågkedjor – en jämförande studie. – Cutting capacity of saw chains – a comparative study. 38 s.
- Nr 914 Skutin, S.G. & Bergqvist, M. 2016. Slutrapport – Rapport Bergtäkt. – Potential er till kortare ledtider i miljöprövningen. – Final report of the 'Rock Quarry' project. Potential to shorten lead times in environmental assessment. 44 s.
- Nr 915 Ottosson, P., Andersson, D. & Fridh, L. 2016. Radarteknik för fukthaltsmätning – en förstudie- Radar technology for measuring moisture content – a preliminary study. 23 s.
- Nr 916 Löfgren, B. 2016. Gentle – Proof of Concept.
- Nr 917 Bergqvist, M., Björheden, R. & liasson, L. 2016. Kompakteringseffekter på skogsbilvägar – Compactation effects on Forest roads.

SKOGFORSK

– Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut

arbetar för ett lönsamt, uthålligt mångbruk av skogen. Bakom Skogforsk står skogsföretagen, skogsägareföreningarna, stiftelsen, gods, skogsmaskinföretagare, allmänningar m.fl. som betalar årliga intressentbidrag. Hela skogsbruket bidrar dessutom till finansieringen genom en avgift på virke som avverkas i Sverige. Verksamheten finansieras vidare av staten enligt särskilt avtal och av fonder som ger projektbundet stöd.

FORSKNING OCH UTVECKLING

Två forskningsområden:

- Skogsproduktion
- Virkesförsörjning

UPPDRAG

Vi utför i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter.

Det kan gälla utredningar eller anpassning av utarbetade metoder och rutiner.

KUNSKAPSFÖRMEDLING

För en effektiv spridning av resultaten används flera olika kanaler: personliga kontakter, webb och interaktiva verktyg, konferenser, media samt egen förlagsverksamhet med produktion av trycksaker och filmer.

Från Skogforsk nr. 912 –2016



www.skogforsk.se