



Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 911 –2016

Prestation och kostnader för slutavverkningsdrivare Komatsu X19 med snabbfäste

Performance and cost in final felling for
Komatsu X19 harwarder with quick hitch

Rikard Jonsson, Petrus Jönsson och Hagos Lundström

Arbetsrapport

Från Skogforsk nr.911-2016

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

Titel:

Prestation och kostnader för slutavverkningsdrivare Komatsu X19 med snabbfäste.

Performance and cost in final felling for Komatsu X19 harwarder with quick hitch.

Bildtext:

Komatsu X19.

Fotograf: Rikard Jonsson

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.



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

Abstract

Harwarders have shown potential to decrease logging costs compared with the conventional two-machine-system (TMS) thanks to direct loading. The first harwarder specialised for final felling, the prototype Komatsu X19, was introduced in 2014.

Komatsu X19 was evaluated through time study combined with simulations. The X19 was used both with a combination head, and with quick-hitch, enabling switching between harvester head and grapple. The time study included four felling sites in Västerbotten and the performance was compared with productivity standards for TMS. Thirty-four loads were studied. Diesel consumption was measured through top filling on seven occasions, representing 29 of the studied loads.

Quick hitch and specialised tools led to increased performance and lower costs in comparison with the combination head. Simulation was successful for predicting system properties. X19 showed theoretical potential to decrease logging costs with 7–12% compared with TMS, when haulage distance was shorter than 400 metres. Diesel consumption was 24% lower than the standard values for harvester and forwarder.

Improved technical design, in combination with method development, may increase productivity of the X19. Data from the study derive from different operators and stands, and should therefore be supplemented with a study in which TMS and X19 are studied using the same operators in the same stands.

Förord

I denna studie har Holmen bidragit med maskintid, avverkningsobjekt och maskinförare. Initiering gjordes i samråd med drivargruppen, en av Skogforsks samverkansgrupper, som bildades under 1990-talet som ett brukarforum för diskussion av specifikationer för nya maskinkoncept samt för att dela relevanta erfarenheter och studieresultat. Arbetet med ett nytt drivarkoncept för slutavverkning började 2007. Drivargruppen bestod i maj 2015 av:

Företag	Namn
Billerud Korsnäs	Per Nordahl
Holmen	Jonas Eriksson
Holmen	Robert Johansson
SCA	Magnus Bergman
SCA	Tomas Flemström
Skogforsk	Rikard Jonsson (sammankallande)
Skogforsk	Petrus Jönsson
Skogforsk	Hagos Lundström
Stora Enso	Mattias Bränngård
Stora Enso	Joakim Myhrman
Sveaskog	Lennart Hult
Södra	Magnus Peterson

Planering av studien i samråd med drivargruppen, utförande av test, analys av data samt sammanställning av rapporten har gjorts av Petrus Jönsson, Hagos Lundström och Rikard Jonsson, Skogforsk.

Vi vill varmt tacka alla som bidragit till studiens genomförande!

Uppsala 2016

Rikard Jonsson, projektledare

Innehåll

Sammanfattning	3
Introduktion	4
Syfte	6
Material och metoder	6
Studieförutsättningar	6
Simulering av prestation X19	7
Simuleringsmodellen	8
Tidsstudier	10
Kalkyl	10
Kostnader	11
Drivmedelsförbrukning	11
Resultat	12
Simulering av prestation X19	12
Prestation	13
Jämförelse av simulering och tidsstudie	16
Kostnader	16
Kompletterande analyser	18
Drivmedelsförbrukning	18
Diskussion	19
Slutsatser	22
Referenser	23
Internet	24
Bilaga 1 Trädens stamvolym är betafördelade	25
Bilaga 2 Momentindelnings drivare och skördare	27
Bilaga 3 Rådata för X19 och 931	29
Bilaga 4 Grundscenario	31
Bilaga 5 Statistikanalys X19 avverkning	35
Bilaga 6 Statistikanalys X19 lossning	37
Bilaga 7 Statistikanalys 931	39

Sammanfattning

I dag utförs majoriteten av drivning i svenskt skogsbruk med det välbeprövade tvåmaskinsystemet (TMS), som består av skördare och skotare. Vid arbete med drivare kan virke upparbetas direkt på en tilt- och roterbar lastbärare. Detta medger att lastningen i det närmaste bortrationaliseras. Tidigare studier har visat potential vid korta terrängtransportavstånd, få sortiment och på små trakter. Till nackdelar räknas investeringskostnaden och lång inlärningskurva.

Denna studie avsåg att studera tidsåtgång och kostnader för drivarprototypen Komatsu X19 dels med kombinationsaggregatet 330DUO, dels med snabbfäste och specialiserade redskap (Komatsu 365-aggregat samt en 0,36 m² grip) i jämförelse med TMS. Studien baserades på simulering kombinerat med efterföljande konventionella tidsstudier. Simuleringen utfördes med ett dynamiskt, händelsebaserat verktyg. Tidsåtgång baserades på produktionsnormer, anpassade efter förväntad prestation. Tidsstudien omfattade fyra avverkningsobjekt i Västerbotten. 34 lass studerades genom konventionella tidsstudier på momentnivå. Analys gjordes med variabler som medelstamvolym, terrängtransportavstånd och antal sortiment. Baserat på tidsåtgång för X19 i studien och enligt norm för skördare och skotare beräknades drivningskostnader för X19 och TMS. Dieselförbrukning mättes genom toppfyllning vid 7 tankningar, vilket omfattade 29 av de tidsstuderade lassen.

Snabbfäste och specialiserade redskap ledde till högre prestation och lägre kostnader än kombinationsaggregat enligt både simuleringar och tidsstudier. Simulering fungerade utmärkt för att prediktera systemegenskaper men kräver att modellen baseras på tillförlitliga data. Komatsu X19 hade med de antaganden som gjordes i studien, en teoretisk potential att sänka drivningskostnaden i storleksordningen 7–12 procent vid terrängtransportavstånd kortare än 400 meter och upp till 3 sortiment. Studien fann inte någon tydlig medelstamsberoende skillnad mellan X19 och TMS och uppfattningarna från tidigare studier skiljer sig på den punkten. Små trakter var gynnsamt för X19, men investeringskostnaden var en kritisk faktor. Dieselförbrukningen var i genomsnitt 24 procent lägre än normvärden för skördare och skotare.

Prototypen X19 är nästan helt byggd av komponenter från skördare och skotare. Bättre anpassning av komponenter i kombination med metodutveckling bör kunna höja produktiveten. En osäkerhet i denna studie beror på att materialet härrör från olika förare och bestånd. Studien bör därför kompletteras genom att TMS och X19 studeras med samma förare och på samma trakt.

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 för transport till bilväg. Vid arbete med drivare kan virke upparbetas direkt på en tilt- och roterbar lastbärare. Detta medger att lastningen 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) och Bergkvist (2007; 2008; 2010; 2012), styrker slutsatserna om ökande konkurrensfördel vid korta terrängtransportavstånd. Bergkvist (2010) gjorde en sammanställning av studier och uppföljningar på drivare.

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 helkroppsvibrationer 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.
- Tung, komplex och dyr maskin. Fullgod utrustning krävs både för avverkning och för skotning vilket ger hög investeringskostnad.
- Svaghet vid långa terrängtransportavstånd, drivarens potential försämras med ökande avstånd p.g.a. höga kapitalkostnader, i synnerhet vid jämförelse med skotare.

Granlund och Thor (2005) gjorde jämförande vibrationsmätningar på drivare och skotare och fann ingen skillnad. I diskussionen presenterades en uppskattning att cirka 30 procent av skotarna ligger över insatsvärdet för vibrations-exponering 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).

De drivare som hittills marknadsförts har varit avsedda för gallring och klen slutavverkning och utrustade med kombinationsaggregat. Dessa maskiner lyckades inte visa tillräcklig konkurrensförmåga emot TMS, vilket ledde till svag efterfrågan. 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. Komatsu X19 är avsedd för slutavverkning, med 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).

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

Andersson och Eliasson (2004) jämförde tre arbetsmetoders inverkan på drivarproduktivitet i föryngringsavverkning och fann att enkelsidig upparbetning var mest gynnsam.

Syfte

Syftet var att studera tidsåtgång och kostnader för slutavverkningsdrivaren Komatsu X19 i relation till tvåmaskinsystemet (TMS) bestående av skördare och skotare. Jämförelserna avser produktivitet, m³fub per G₀-timme samt kostnad, kr per m³fub.

Material och metoder

STUDIEFÖRUTSÄTTNINGAR

Drivarprototypen Komatsu X19 studerades i fyra bestånd hos Holmen Skog AB. Bestånden låg i Västerbottens län och var talldominerade. Terrängtransportavstånd (avser alltid enkel väg om inget annat anges) var 278 meter och volymvägd medelstamvolym för bestånden var 0,26 m³fub per stam (Bilaga 3). Försöksföraren Anders Lidén har erfarenhet av både avverkning och skotning, har kört den äldre drivaren Valmet 801 och var testförare av Komatsu X19 under cirka ett år före studien. Referensstudie gjordes med Anders Lidén vid avverkning med Komatsu 931 skördare för att uppskatta hans prestationsnivå jämfört med normal prestation för skördare. Skördaren var storleksmässigt anpassad för slutavverkning precis som X19. I första beståndet studerades X19 med kombinationsaggregatet 330DUO, därefter med snabbfäste och 365-aggregat och 0,36-grip (Tabell 1).

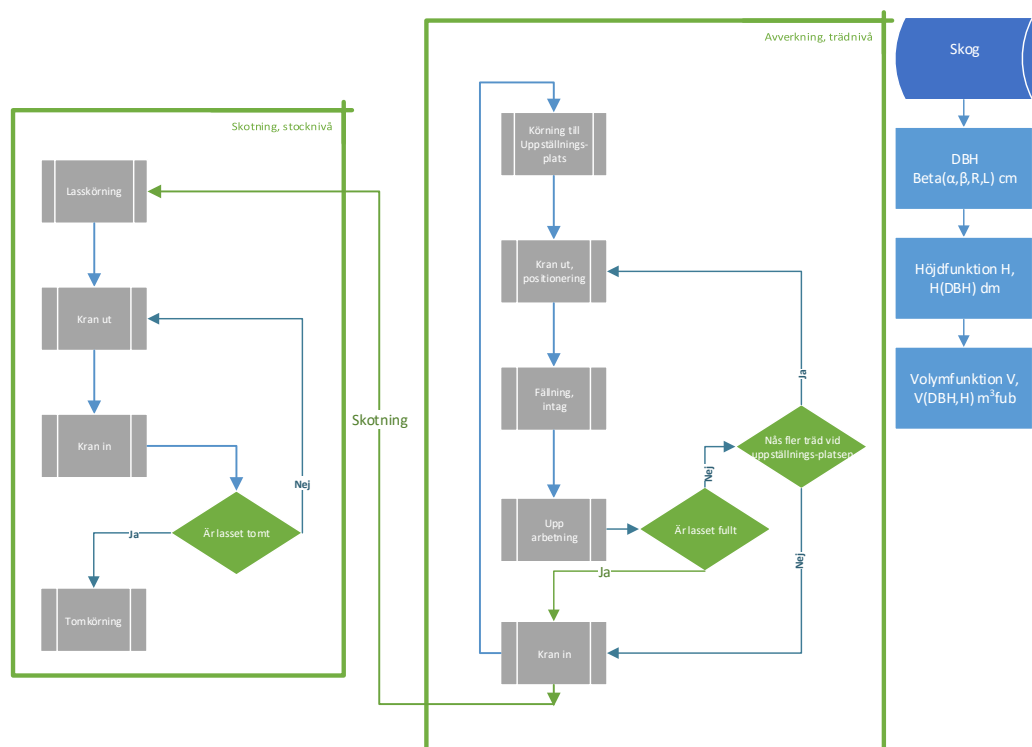
Komatsu X19 avverkade enkelsidigt i hela studien. Då antalet sortiment var fyra eller fler, direktlastades de tre största sortimenten och resterande fälldes in mot nästa stråk och lämnades till efterföljande lass. Vid färre än fyra sortiment direktlastades samtliga sortiment.

Tabell 1.
Beskrivning av maskiner och utföranden i studien.

Märke och modell	Komatsu X19	Komatsu X19	Komatsu 931
Aggregat/grip	330DUO	365/0,36	365
Benämning i denna rapport	X19 330	X19 365	931
Motoreffekt, kW	193	193	185
Kranlängd, meter	9,7	9,7	10
Lastkapacitet, ton	19	19	–

SIMULERING AV PRESTATION KOMATSU X19

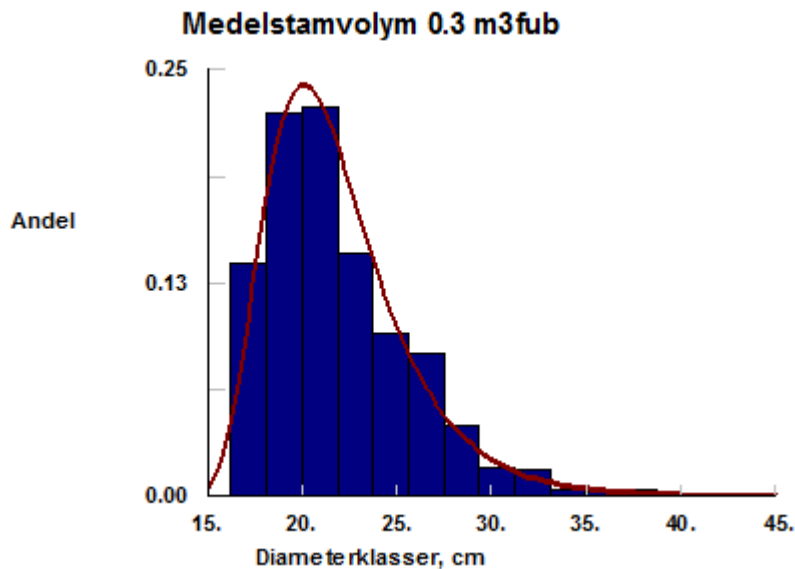
Hur en snabbkoppling som möjliggör användning av specialredskap skulle påverka X19:s produktivitet i jämförelse med kombinationsaggregat utvärderades med hjälp av simulering. Simuleringen utfördes med programvaran ExtendSim, ett dynamiskt, händelsebaserat verktyg (ExtendSim, 2016). Fördelarna med dynamisk simulering är att alla delprocesser som bygger upp modellen utvärderas i analysen. X19:s arbetsmoment byggs in i modellen och binds samman i ett logiskt flöde. Arbetsmomenten som ingår i X19:s arbetscykel, (se Figur 1), för normalt arbete är; 1) körning fram till uppställningsplatsen. 2) träden fälls och upparbetas på lasset tills lasset är fullt. 3) lasskörning. 4) lossning. 5) tomkörning till uppställningsplatsen. Denna process upprepas iterativt med ur en given fördelning framslumpade träd tills tidsåtgången når ett förutbestämt värde för bedömning av prestationsnivå, som t.ex. 40 timmar. Fördelningen av träd som genereras i simuleringsmodellen baseras på inmätta träd vid normala avverkningar (Figur 2).



Figur 1.

Flödesschema över X19:s arbetsmoment uppdelat i två huvudgrupper. Till höger för avverkningssdelen och till vänster för skotningsdelen. För avverkningssdelen är det trädinformation som passerar mellan blocken och för skotningsdelen så delas träden upp i stockar. Ett trads egenskaper beräknas med höjd- och volymfunktioner baserade på slumpad diameter i brösthöjd (DBH) från en betafördelning (Figur 2). Gröna linjer indikerar att lastbäraren är fylld och att transport mot lossning följer.

Genom att samla in .pri-filer (Arlinger m.fl., 2012) och granska brösthöjdsdiametern (DBH) kan olika sannolikhetsfördelningar testas med avseende på hur väl funktionerna beskriver fördelningen av DBH.



Figur 2.

Exempel på diameterfördelning som andel av antalet stammar vid en medelstamvolym på 0,3 m³fub. Den genomsnittliga skogen i Sverige har en diameterfördelning som liknar en Betafördelning, d.v.s. majoriteten av träden är klenare än medeldiametern. Notera att x-axeln inte börjar på 0.

Betafunktion för beskrivning av diameterfördelning:

Betafunktionen är en matematisk funktion med kontinuerlig sannolikhetsfördelning och två strukturparametrar; α och β .

$$B(\alpha, \beta) = \int_0^1 t^{\alpha-1} (1-t)^{\beta-1} dt \text{ där } \alpha, \beta > 0 \quad (1)$$

Funktionen $t^{\alpha-1} (1-t)^{\beta-1}$ har tidigare använts för simulering av diameterfördelningar (Nilsson, 1976) och beskrivs utförligare i Bilaga 1.

Simuleringsmodellen

Modellen bygger på X19:s arbetsmoment vilka anordnas i ett logiskt flöde som följer det faktiska förloppet i drivningsarbetet. Ytterligare en input till modellen är att beståndsförutsättningar genereras med specificerad diameterfördelning, trädhöjd, stamantal samt terrängtransportavstånd.

Bland de egenskaper och parametrar som styr modellen ingår givetvis specifikationer för X19. Vid simulering av X19 med 330DUO, anges detta och tidsfunktionerna bestäms utifrån 330DUO:s observerade kapacitet. Då simuleringen avser snabbfäste med byte mellan grip och aggregat styrs tidsfunktion av en modell för dessa redskap, även inklusive tidstillägg för bytet. Funktioner som styr tidsåtgången i avverkningsdelen består av två delar, fällning respektive upparbetning.

Tidsåtgång för fällning med X19 (F), G₀-minuter/stam:

Tidsåtgången för fällning förklaras av stamvolymen. Funktionen gäller för både X19 330 och X19 365. Funktionen baseras på stamvis analys.

$$F = 0,068 + 0,142 \times M \quad (2)$$

M = stamvolym, m³fub.

Den andra funktionen beskriver tidsåtgången för upparbetning (Nurminen m.fl., 2006).

Tidsåtgång för upparbetning med X19 (U), G₀-minuter/stam:

Tidsåtgången är beroende av stamvolym och är olika för X19 330 och X19 365.

$$U = 0,206 + 0,054M + 0,308M^2 + \text{LogNor}(\mu ; \sigma) \quad (3)$$

$$(\mu ; \sigma) = \begin{cases} (0,5; 0,5), & \text{om utförande} = \text{X19 330} \\ (0,1; 0,02), & \text{om utförande} = \text{X19 365} \end{cases}$$

Grundfunktionen $0,206+0,054M+0,308M^2$ är baserad på studier av skördare. Eftersom momentet intagning tar längre tid för X19 än för en skördare har funktionen justerats med ett tidstillägg. Tidstillägget genereras genom slumpvariabeln, LogNor(μ, σ), vilken är lognormalfördelad med medelvärde μ och standardavvikelsen σ . Medelvärde är högre för 330DUO, med 0,5 sek per stam, mot 0,1 sek per stam för 365-aggregatet. Anledningen är att ett konventionellt aggregat har en högre upparbetningskapacitet än ett kombinationsaggregat.

Antalet stammar som kan avverkas per plats innan förflyttning till nästa uppställningsplats har slumpats med hjälp av en binomialfördelning. För 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 hur ofta en förflyttning måste ske. Tiden för förflyttning mellan uppställningsplatser är konstant och har satts till 10 sekunder. Stammar per uppställningsplats och därmed frekvensen av förflyttning är kopplade till arbetsmetoden. För X19 har antagits att det är effektivast att begränsa fällning nära maximal kranräckvidd och i stället förflytta maskinen.

I modellen för X19:s skotning har hastigheten 55 meter per minut antagits vid terrängkörning utan lass och 44 meter per minut vid terrängkörning med lass.

För lossningsarbete har en konstant tid om 20 sekunder per krancykel antagits, antalet stockar per krancykel har slumpats ut med binomialfördelningen Bin (3; 0,7) för 330DUO som ger från 1 till som mest 4 stockar per krancykel med ett medelvärde på 3. För konventionell grip har Bin (7; 0,7), vilket genererar från 4 till 10 stockar med ett medeltal på 7.

TIDSSTUDIER

En konventionell tidsstudie gjordes av Komatsu X19 och 931 (Bilaga 2). X19 analyserades med lass som observationsenhet, 931 analyserades med stam som observationsenhet. Arbetet för X19 delades i momentgrupperna avverkning, körning (tom och full) samt lossning. Observationerna analyserades med en generell linjär modell (GLM) i statistikprogrammet SAS (SAS, 2016).

KALKYL

Kostnader har beräknats i kalkylverktyget SkogforskFLIS (von Hofsten m.fl., 2005) med korrigeringar för att passa studiens analyser. SkogforskFLIS är framtaget för att beräkna och analysera systemkostnader i drivning och vidaretransport. Kalkylen har i denna studie använts för att under likvärdiga förutsättningar beräkna kostnader för drivar- och tvåmaskinsystemet, kr per G_{15} -h. Kalkylen har korrigerats för:

1. Balans skördare-skotare: Då skördaren och skotaren sällan har likvärdig produktivitet krävs balansering av maskinerna. I kalkylen har den effektivaste maskinens prestation utgjort grund för båda maskinerna. För att balansera systemet har den sämst presterande maskinen antagits öka sin tid tills producerad årsvolym är lika. Detta medför, för den sämst presterande maskinen:
 - a. Ökning av utnyttjade timmar.
 - b. Kostnadstillägg för obekväm arbetstid, där all ökning sker inom tid som omfattas av ob-ersättning.
 - c. Kostnadstillägg för övertid läggs på all ökad tid.
2. Maskinlivslängd: Beräkningen avser antal G_{15} -timmar, vilket ger detaljerad beskrivning av hur maskinresursen förbrukas. Livslängden i antal timmar har sedan räknats om till antal år, med antagande om årligt maskinutnyttjande.

Prestationsberäkningarna i SkogforskFLIS baserades på produktionsnormer för skotare och stora skördare i slutavverkning (Brunberg, 2004; 2007) och på normerad studieprestation för X19 (Formel 8).

Kalkylen har matats in med värden enligt grundscenariet, som redovisas i Bilaga 4.

KOSTNADER

Kostnadsjämförelse gjordes mellan TMS och X19 365 med prestationsnorm för skördare och skotare samt justerad studieprestation för X19. Norm för skördare och skotare (Brunberg, 2004; 2007) baseras främst på driftsuppföljningar och innehåller flera förare. I denna studie ingår endast tidsstudier av X19 med en förare och prestationen har därför justerats för att vara på en jämförbar nivå med norm för skördare och skotare. Kuitto m.fl. (1994) studerade totalt 60 skördare och skotare, med tidsstudier och driftsuppföljning, och fann tydliga skillnader mellan driftsuppföljningar och tidsstudier. För skördare var tidsåtgången 27,6 procent högre i driftsuppföljning än vid tidsstudier och motsvarande siffra för skotare var 22,4 procent. Tidsåtgången för avverkning med X19 365 antogs starkt påminna om avverkningsarbete med skördare och korrigerades därför upp med 27,6 procent. Likaså antogs lossning med X19 365 vara jämförbar med en skotares lossning och korrigerades därför upp med 22,4 procent. Hastigheten vid körning med och utan lass antogs inte påverkas och justerades därför inte (Formel 8).

Tidskostnader beräknades utifrån ett grundscenario med genomsnittliga förutsättningar under ett års tid. Detta gav timkostnaden per G_{15} -timme för varje maskin, 1 227 kr för X19 365, 1 199 kr för 931 och 1 088 kr för 895. Sedan gjordes traktvisa systemjämförelser där nyckelvariablerna medelstamvolym och terrängtransportavstånd varierades.

Resultatens känslighet testades för variabler som ränta, X19:s restvärde, traktstorlek, normeringsfaktor för avverkningsprestation, investeringskostnad, X19:s körhastighet och drivmedelsförbrukning.

DRIVMEDELSFÖRBRUKNING

X19:s dieselförbrukning mättes genom toppfyllning av dieseltank vid maskinkoja i samband med tankning. Detta innebär att körning mellan maskinkoja och studieytor ingår i "normal omfattning". Vid tankning eftersträvades en plan yta intill maskinkojan för att få likvärdig lutning på dieseltanken och fyllnadsgrad vid varje tankning. Ytorna varierade dock mellan de olika avverkningsobjekten. Dieselpumpen kalibrerades ej.

Studerad dieselförbrukning jämfördes med beräknad dieselförbrukning för skördare och skotare enligt norm. Skördarens förbrukning beräknades med en funktion beroende av medelstamvolym och skotaren beroende av terrängtransportavstånd (Brunberg, 2013).

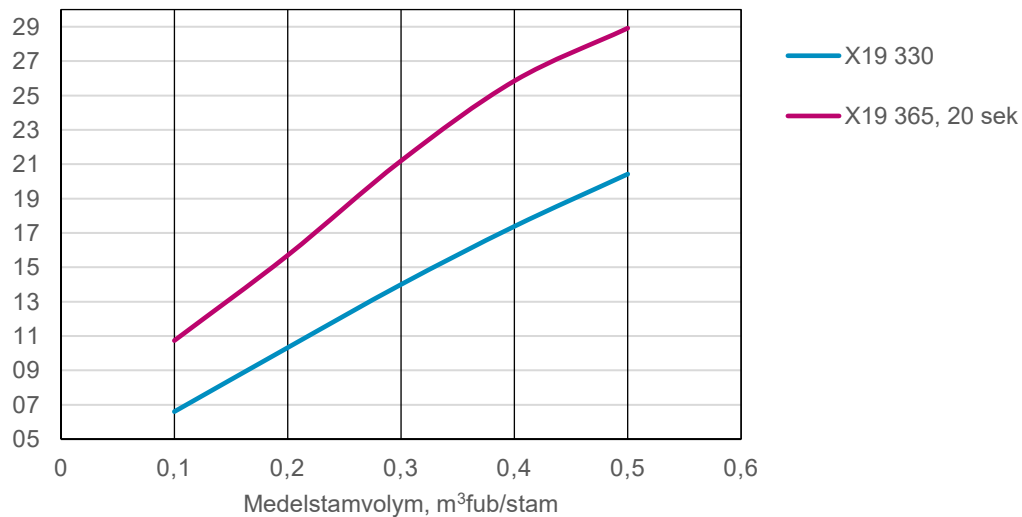
Resultat

X19 med snabbfäste benämns X19 365, X19 med kombinationsaggregat benämns X19 330 och då båda utförandena ingår används benämningen X19. Komatsu 931 med 365-aggregat benämns 931.

SIMULERING AV PRESTATION FÖR KOMATSU X19

Snabbkopplingens påverkan på X19:s produktivitet har utvärderats för olika scenarier, där medelstamvolym, förändrats i 0,1 m³fub steg från 0,1 till 0,5 m³fub, och terrängtransportavstånd ökades från 100 till 500 meter i steg om 100. Detta gjordes för X19 330 och X19 365. För det senare alternativet utvärderades även bytestiden mellan grip och aggregat från 0 sekunder till 120 sekunder i steg om 20.

Produktivitet, m³fub/G₀-h

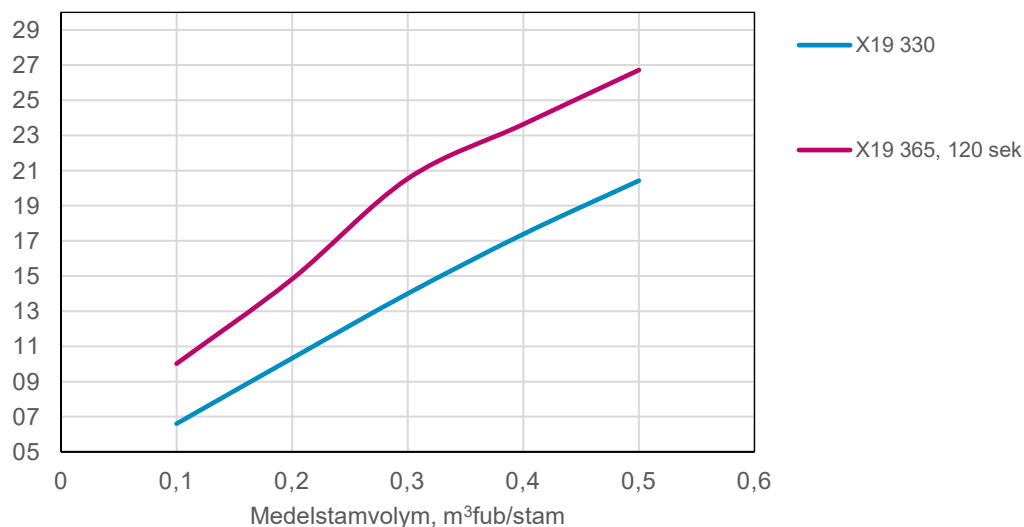


Figur 3.

Simulering av prestation för X19 330 och X19 365 vid 300 meters terrängtransportavstånd, vid antagandet att byte med snabbfäste tar 20 sekunder per tillfälle. Notera att y-axeln inte börjar på 0.

Av Figur 3 och 4 framgår att vid 300 meters terrängtransportavstånd och medelstamvolym mellan 0,1 och 0,2 m³fub, har tiden för redskapsbyte mycket begränsad inverkan på produktiviteten. Detta beror huvudsakligen på att drivaren till 70 procent arbetar med avverkning. Antalet byten är litet och därmed utgör tiden för redskapsbyte en mycket liten andel av totaltiden.

Produktivitet, m³fub/G₀-h



Figur 4.

Simulering av prestation för X19 330 och X19 365 vid 300 meters terrängtransportavstånd, vid antagandet att byte med snabbfäste tar 120 sekunder per tillfälle. Notera att y-axeln inte börjar på 0.

Vid terrängtransportavstånd kortare än 300 meter och medelstamvolym under 0,2 – 0,3 m³fub dominerar tiden för avverkning. Prestationsnivån blir då relativt okänslig för hur lång tid redskapsbytet tar, även då det är så stor tidsökning som från 20 till 120 sekunder.

PRESTATION

På de ytor där Komatsu X19 studerades varierade medelstamvolymen från 0,21 till 0,32 m³fub, medan medelstamvolymen på det objekt där skördaren studerades, som referens, var 0,39 m³fub (Bilaga 3). Totalt studerades 34 lass. Tidsåtgången för X19 beskrivs för momentgrupperna avverkning, körning (tom och full) och lossning.

Tidsåtgång för avverkning med X19 365 respektive X19 330 (T_1), G₀-minuter/m³fub:

Tidsåtgång för avverkning beräknas med medelstamvolym, stamuttag och stråkbredd (Bilaga 5).

$$T_1 = \left(94 + Utf + \frac{36,5}{M} - 244,5 \times \left(U \times M / \left(\frac{10\,000}{S} \right) \right) \right) / 100 \quad (4)$$

Utf = Utförande

$$Utf = \begin{cases} 39,3, & \text{om utförande} = 330 \\ 0, & \text{om utförande} = 365 \end{cases}$$

M = Stamvolym, m³fub/stam.

U = Uttag, stamantal/ha.

S = Stråkbredd, meter.

**Tidsåtgång för körning med X19, oberoende av utförande (T_2),
 G_0 -minuter/ m^3 fub:**

Tidsåtgång för körning tom och full beräknas med terrängtransportavstånd, medelhastighet och lastvolym.

$$T_2 = A \times 2 / 53,75 / L \quad (5)$$

A = Enkelt terrängtransportavstånd, meter.

L = Lastvolym, m^3 fub/lass.

**Tidsåtgång för lossning med X19 365 respektive X19 330 (T_3),
 G_0 -minuter/ m^3 fub:**

Tidsåtgång för lossning påverkas av flera faktorer, där antal sortiment väger tyngst (Bilaga 6).

$$T_3 = (55,2 + Utf - AS) / 100 \quad (6)$$

Utf = Utförande

$$Utf = \begin{cases} 30,4, & \text{om } Utf = 330 \\ 0, & \text{om } Utf = 365 \end{cases}$$

AS = Antal sortiment

$$AS = \begin{cases} 20,5, & \text{om } AS = 2 \\ 4, & \text{om } AS = 3 \end{cases}$$

Studieprestation, X19, m^3 fub/ G_0 -h:

$$\text{Studieprestation, X19} = 60 / (T_1 + T_2 + T_3) \quad (7)$$

Normerad prestation, X19, m^3 fub/ G_0 -h:

Prestation justerad med koefficient för avverknings- och lossningsarbete (Kuitto m.fl., 1994).

$$\text{Normerad prestation, X19} = 60 / (T_1 \times 1,276 + T_2 + T_3 \times 1,224) \quad (8)$$

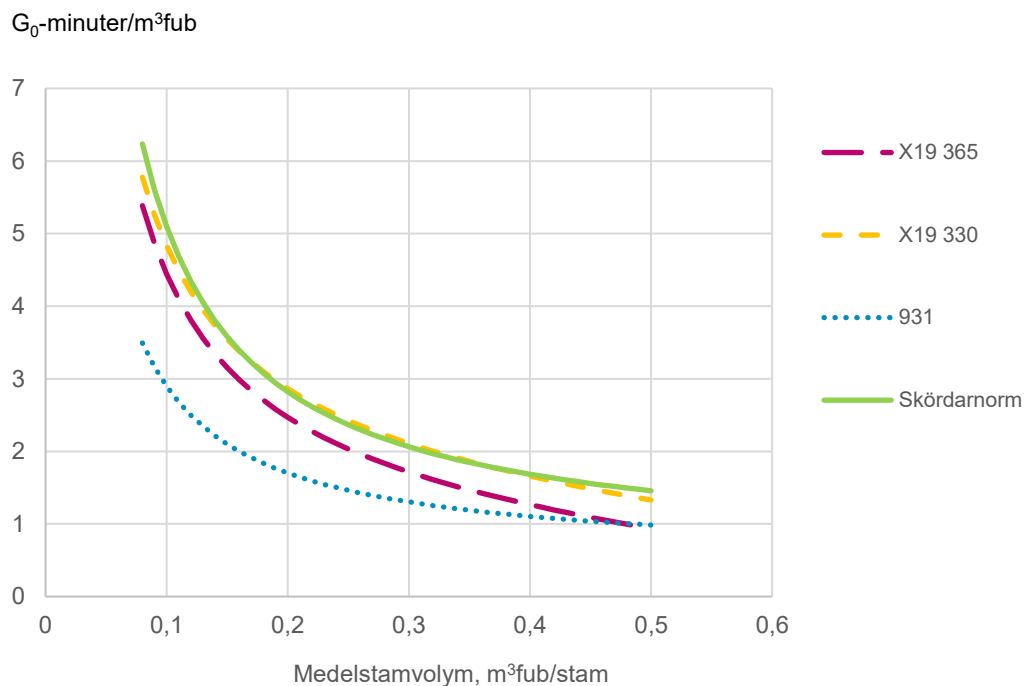
Prestation, 931, G_0 -minuter/ m^3 fub:

Produktiviteten påverkas av stamvolymen (Bilaga 7).

$$\text{Prestation, 931} = 0,508 + 0,239 / M \quad (9)$$

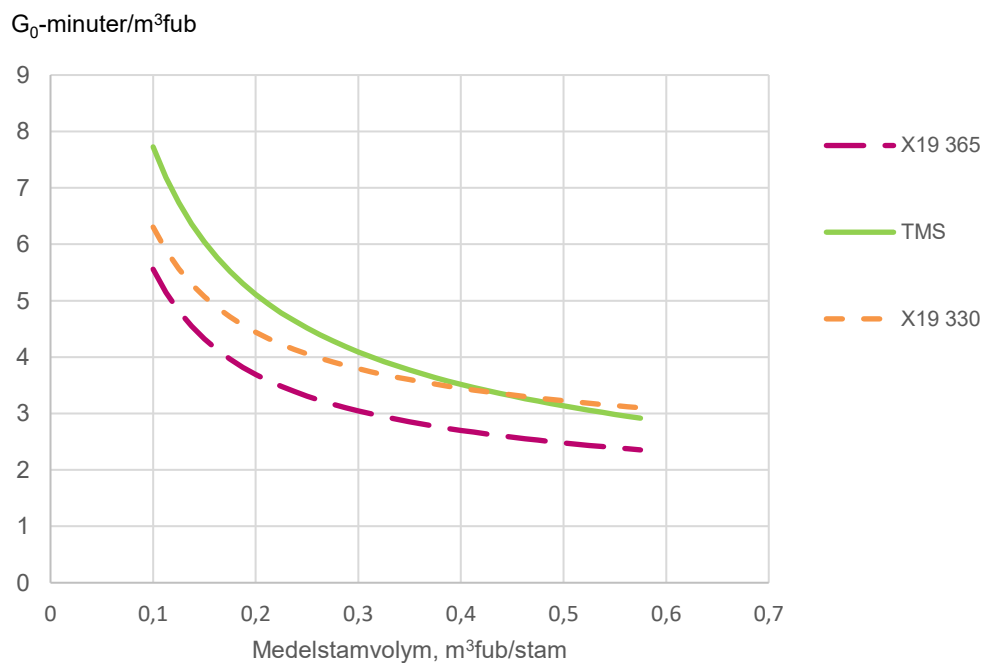
Vid beräkning av avverkningsprestation för 931 divideras 60 med Formel 9.

För Komatsu X19 var prestationen i avverkning mycket lik produktionsnormen (Brunberg, 2007). Avverkningsarbetet i referensstudien av Komatsu 931 gick betydligt snabbare än normen. Vid medelstamvolym 0,3 m^3 fub var t.ex. tidsåtgången endast 67 procent av normens (Figur 5).



Figur 5.
Prestation i avverkning för X19 330, X19 365 och 931. För 931 ingår alla moment utom övrigt och röjning.
Prestation för X19 har ej normerats.

TMS och X19 330 hade samma prestation vid medelstamvolym 0,44 m³fub.
TMS och X19 365 närmade sig varandra med ökande medelstamvolym (Figur 6).
Vid medelstamvolym 0,2 m³fub tog X19 330 20 procent mer tid än X19 365.



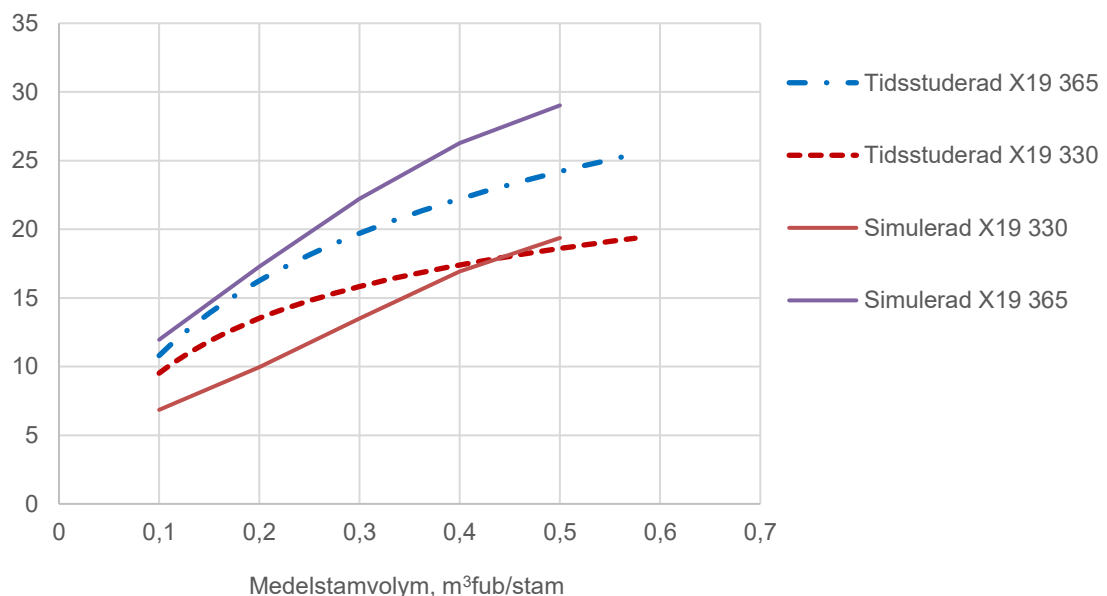
Figur 6.
Prestation i drivning för X19 330, X19 365 och TMS. Alla moment utom övrigt och röjning ingår för båda systemen. Siffrorna för X19 har ej normerats.

JÄMFÖRELSE AV SIMULERING OCH TIDSSTUDIE

I Figur 7 jämförs de inledande simuleringarna av X19 330 och X19 365 mot tidsstudieresultat. Då simuleringarna gjordes innan det fanns några uppföljningar eller tidsstudier på X19 har tidsfunktioner antagits från andra, mer välstuderade maskinsystem, främst tvåmaskinsystemet. Dessa funktioner har anpassats för att kunna beskriva drivarens arbete.

Orsaker kan vara att prestationen som använts i simuleringarna är baserade på uppskattningar gjorda på drivaren Valmet 801 och att prestationshöjningen som följer av det större lastutrymmet hos X19 inte återspeglats korrekt. För simuleringarna av effekten på snabbkoppling överskattas prestationen i grövre medelstammar. Orsakerna tros ligga i att upparbetningsfunktionen inte tar hänsyn till att X19 påverkas mer negativt då stammarna blir tyngre och att det blir svårare att jobba lika effektivt som en skördare.

Prestation, $\text{m}^3\text{fub}/\text{G}_0\text{-h}$

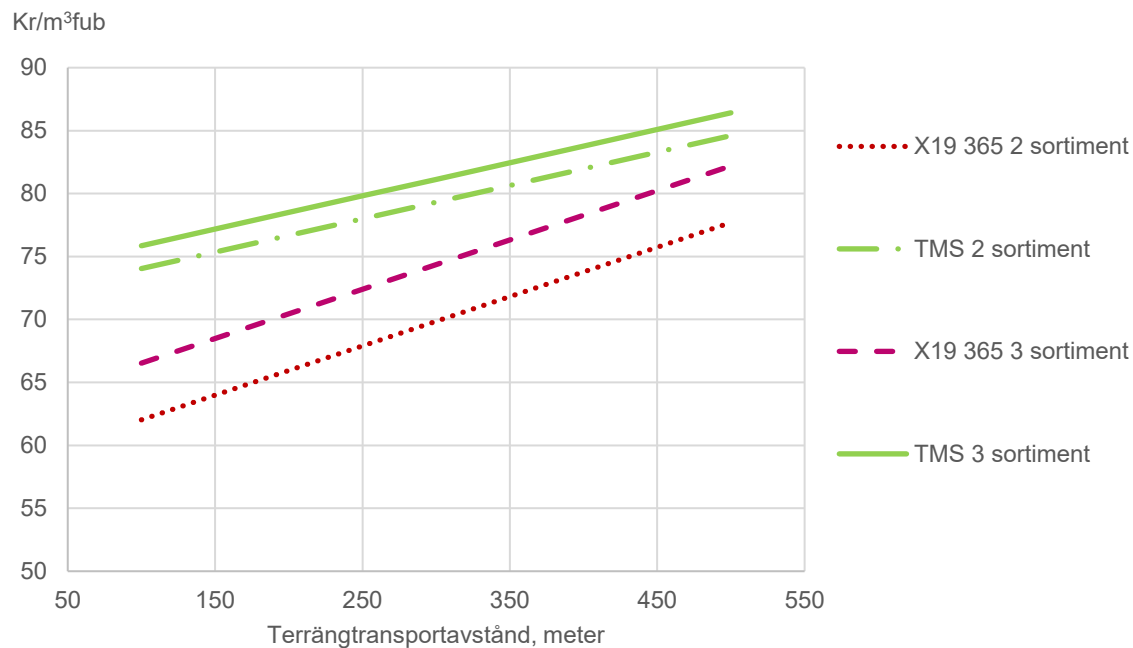


Figur 7.

Avvikelser mellan simulerad prestation och studerad. Simuleringarna av X19 330 underskattar prestationen för klenare medelstam, jämfört med faktiska tidsstudieresultat.

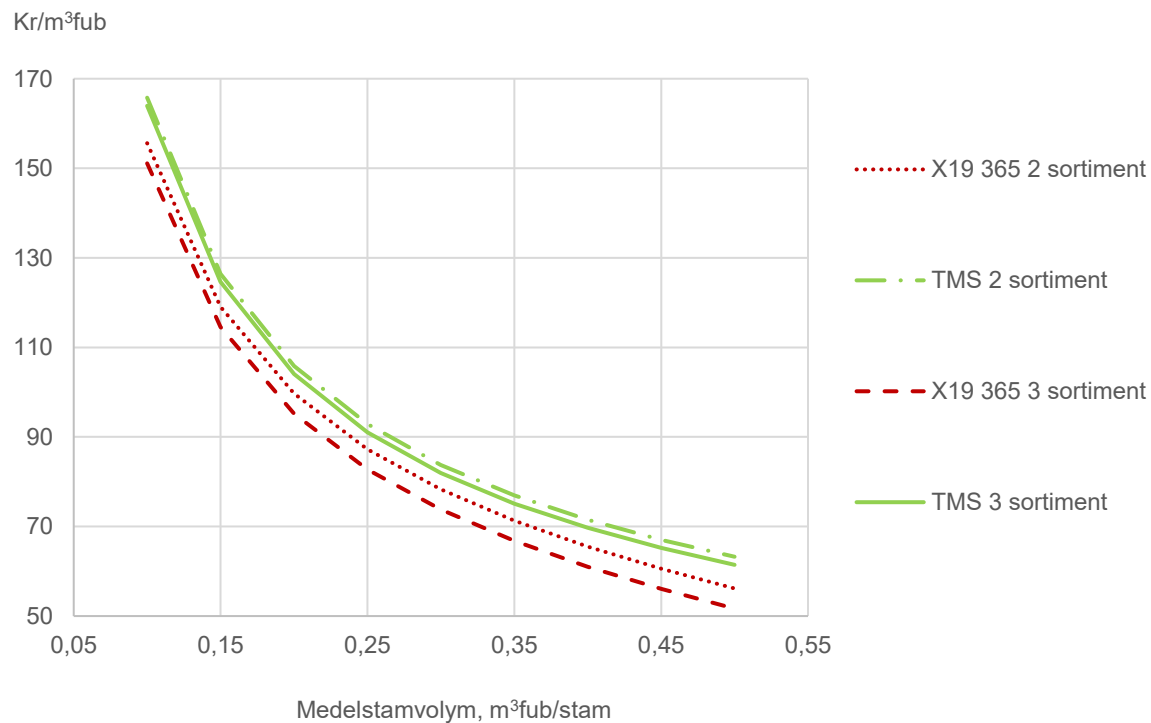
KOSTNADER

Då inget annat anges bygger presenterade kostnader på ett grundscenario (Bilaga 4), med traktstorlek 1 000 m^3fub , terrängtransportavstånd 400 meter, medelstamvolym 0,3 m^3fub , 3 sortiment per objekt samt stråkbredd 10 meter. Prestationen för X19 365 har normerats i avverknings- och lossningsmomenten. Kalkylerade drivningskostnader för grundscenariet är beräknade till 6,6 procent lägre för X19 365 än för TMS. Komatsu X19 gynnas av korta terrängtransportavstånd. Om terrängtransportavståndet sätts till 200 meter ger kalkylen 10,2 procent lägre kostnader för X19 365 än för TMS (Figur 8). X19 365 gynnas även av få sortiment (Figur 8 och 9).



Figur 8.
Drivningskostnad för X19 365 och TMS på varierande terrängtransportavstånd, med 2 respektive 3 sortiment per objekt. Notera att varken y-axeln eller x-axeln börjar på 0.

Drivningskostnaderna beräknas minska med ökande stamvolym, för både X19 365 och TMS. Vid medelstamvolym 0,2 m³fub beräknas X19 365 ha 5,8 procent lägre drivningskostnader (Figur 9).



Figur 9.
Drivningskostnad för X19 365 och TMS vid varierande medelstamvolym, med 2 respektive 3 sortiment per objekt. Notera att varken y-axeln eller x-axeln börjar på 0.

KOMPLETTERANDE ANALYSER

Prestation och kostnader påverkas starkt av medelstamvolym och terrängtransportavstånd. Men många fler variabler har en inverkan, varav några är delvis okända eller inte kunnat belysas i studien. Därför genomfördes ett antal kompletterande analyser och känslighetsanalyser. Enligt grundscenariet var drivningskostnaden beräknad till 6,6 procent lägre för X19 365 än för TMS vid ett terrängtransportavstånd på 400 meter. Resultatet av känslighetsanalyserna presenteras i Tabell 2.

Tabell 2.

Kompletterande analys på drivningskostnaderna för X19 365 och TMS. Kalkylkostnader för X19 365 framgår av Bilaga 4.

Variabel, testat värde	Värde enligt grundscenariet	Testat värde	Kostnadsbesparing gentemot TMS, %	Skillnad gentemot grundscenariet, %
Grundscenariet	–	–	6,6	–
Ränta, %	2,75	6	5,3	–1,3
Restvärde X19 365, %	22	12	3,7	–2,8
Traktstorlek, m ³ fub/trakt	1000	1500	4,4	–2,2
Korrigerig av avverkningsprestation, %	27,6	37,4	2,2	–4,3
Investeringskostnad, kr	6 000 000	5 500 000	8,8	2,3
Ökad körhastighet, X19 365, meter/min	53,75	59,18	8,1	1,6
Traktstorlek, m ³ fub/trakt	1000	500	12,2	5,7

Skillnaden påverkas starkt om X19 365:s prestation normeras med 37 procent (Figur 6), baserat på studieförarnas avvikelse från norm vid avverkning med 931, i stället för 28 procent från Kuitto m.fl. (1994). Skillnaden förändras tydligt vid sänkning av restvärdet för X19 365 då samtidigt restvärde för 931 och 895 hålls konstant. Skillnaden förändras även tydligt för sänkning av investeringskostnaden för X19 365, då 931 och 895 hålls konstant. Skillnaden i drivningskostnad mellan systemen påverkas även starkt av traktstorleken, vid halvering av traktstorleken noteras kostnadsfördel för X19 365. Vid ökning av traktstorlek från grundscenariets 1 000 m³fub per trakt till 1 500 minskar i stället skillnaden till nackdel för X19 365 (Tabell 2).

DRIVMEDELSFÖRBRUKNING

Under studien gjordes mätning vid sju tankningar av Komatsu X19. Volymvägd dieselförbrukning var i genomsnitt 21,6 liter per G₀-timme, 1,14 liter per m³fub. X19 drog i genomsnitt 76 procent diesel jämfört med normvärden för skördare och skotare. De 7 tankningarna omfattade 29 av de totalt 34 studerade lassen (Tabell 3).

Tabell 3.

Dieselförbrukning per tids- och volymenhet. Totalt gjordes sju mätningar vid de fyra objekten.

Mätning 1 och 2 var med X19 330, resterande med X19 365.

Mätning	1	2	3	4	5	6	7
Studieobjekt	1	1	2	3	3	4	4
Medelstamvolym, m ³ fub/stam	0,19	0,22	0,32	0,31	0,31	0,18	0,23
Terrängtransportavstånd, meter	229	286	398	219	268	200	197
Dieselförbrukning, liter/G ₀ -timme	20,8	21,2	20,7	20,9	23,6	22	23
Dieselförbrukning, liter/m ³ fub	1,37	1,37	0,99	0,91	0,85	1,26	1,39
Dieselförbrukning skördare och skotare, liter/m ³ fub (Brunberg, 2013)	1,62	1,58	1,49	1,41	1,44	1,64	1,52
Skillnad mellan norm och studie, %	-16	-13	-33	-36	-41	-23	-8

Diskussion

Med de maskintidkostnader och förutsättningar som använts i denna studie av Komatsu X19 samt existerande produktionsnorm för skördare och skotare var drivningskostnaden 7–12 procent lägre för X19 365 jämfört med TMS vid terrängtransportavstånd kortare än 400 meter. Resultaten visar dessutom att X19 365:s konkurrenskraft tydligt stärks vid korta terrängtransportavstånd med en tendens till stärkt konkurrensförmåga även vid grövre medelstamvolym. Ökat antal sortiment sänker prestationen mer för X19 än för TMS. Liknande resultat vad gäller terrängtransportavståndet har redovisats även i flera tidigare studier (Hallonborg, 1998; 2003; Hallonborg & Nordén, 2000; Wester & Eliasson, 2003; Bergkvist m.fl., 2003; Bergkvist, 2007; 2008; 2010; 2012; Lindroos, 2011), medan effekten av ökande medelstamvolym på drivarsystemets konkurrensförmåga jämfört med TMS varit mera omstridd. Denna studie indikerar en svag ökning av konkurrensförmågan gentemot TMS vid ökande medelstamvolym, vilket teoretiskt visats av Lindroos (2011). Väättäin m.fl. (2006) såg konkurrensfördel vid ökande volymuttag per arealenhet. Bergkvist (2007; 2008; 2010; 2012) och Hallonborg (1998; 2003) redovisar i stället försämrade konkurrenspotential gentemot TMS vid ökande medelstamvolym. Vid direktlastning förs drivarens alla trädstammar till lastbäraren, detta inrutade arbete kan delvis förklara att medelstamvolymen kan få en starkare inverkan på tidsåtgången i avverkning för X19 än för 931. En ökande medelstamvolym sänker inte tidsåtgången per stam lika starkt som för 931. Men då stammarna blir så stora att de blir svårhanterliga för X19 så försvåras intagningen till lastbäraren märkbart (Figur 6).

En drivare kostar mer per tidsenhet än en skördare eller en skotare, om den är jämförbart utrustad för avverkning och skotning. Vid avverkningsarbetet krävs därför att drivarens tidsåtgång per volymenhet är lägre, om kostnaderna per volymenhet ska bli lika. Men då en direktlastande drivare under avverkning även utför delar av skotningsarbetet blir tidsåtgången istället högre.

För terrängtransporten gäller att skillnaden i kostnad per tidsenhet mellan drivare och skotare är ännu större. Därför krävs en stor tidsbesparing i skotningsmomenten för att en drivare ska uppvisa likvärdig kostnad i skotningsarbetet. Direktlastning ger en högst betydande skillnad mellan drivarsystemet och TMS genom att lastningsmomentet i det närmaste bortrationaliseras. Körhastigheten för X19 är lägre än för skotare enligt norm (Brunberg, 2004), vilket innebär att en ökning av körsträckan är till nackdel för X19. Tidsbesparingen av att slippa momenten lastning samt körning under lastning måste kompensera för tidsökningen i avverkningsmomenten, körning (tom och full) och lossningen. Tidsbesparingen måste även kompensera för det högre maskintimpriset för drivaren.

Simuleringen visar att det är viktigt för drivaren att kunna arbeta med specialiserade redskap men att det är mindre viktigt hur snabbt bytet kan ske från aggregat till grip. Därmed inte sagt att det är oviktigt; varje minut som kan sparas in per lass ger tre extra arbetsdagar på ett verksamhetsår, med en antagen årsproduktion på 25 000 m³fub för drivaren kan det innebära drivning av 460 m³fub.

Simuleringen visar på en tydlig effektivitetshöjning genom att byta mellan aggregat och grip i stället för att använda kombinationsaggregat. När simuleringarna av drivaren jämförs med faktiska tidsstudier finns en relativt stor avvikelse för delar av medelstamsregistret (Figur 5). Simuleringen ger, liksom en ”riktig studie”, både ett medelvärde och standardavvikelse. I Figur 5 utgör de plottade linjerna medelvärden. Om ett konfidensintervall skapas runt dessa med uppgifter om standardavvikelsen så överlappar de flesta linjerna varandra i jämförelsen. Simuleringen gav ett gott underlag vad gäller värdet av att utrusta X19 med en snabbkoppling. Jämförelsen mellan simulerad och tidsstuderad prestation visar att goda fältdata och kunskap om ett system är avgörande vid simulering. Simuleringsresultaten blir aldrig bättre än de indata som ligger till grund för modellen. När det finns god kunskap om ett system är simulering ett utmärkt analysverktyg.

Sambandsstudier, som visar betydelsen av påverkande bestandsvariabler på prestationen, är en viktig grund för jämförande studier. Inverkan av olika förare är betydande, men komplex och betydligt svårare att kontrollera eftersom det kräver mycket omfattande och därmed kostsamma studier. Arbetet med drivare kräver att föraren klarar av att utföra både avverkning och skotning, avverkningsarbetet har dessutom något högre komplexitet än för en skördare. Den höga komplexiteten bör innebära att inlärningskurvan blir flackare än för skördare eller skotare.

Förarinverkan har i denna studie hanterats genom normering av drivarens arbete baserat på tolkning av likheter med skördare och skotare. Detta utgår från antagandet att drivarens avverkningsarbete i stort överensstämmer med skördarens, likaså att drivarens lossning är likvärdig med skotarens. Båda antagandena rymmer betydande osäkerhet. Arbetsmomenten blir försvårade för drivaren, både i avverkning och i lossning. Framtida studier bör innefatta drivare, skördare och skotare med samma förare på samma trakt för att minska förarinverkan på resultaten.

I denna studie har två till sex sortiment tagits ut per objekt, med tyngdpunkt vid tre sortiment. Fortsatta studier bör omfatta minst fyra till fem sortiment för att ge underlag för en bredare bedömning av drivarens eventuella potential i en större andel av svenska föryngringsavverkningar.

Tidsberäkning kan göras t.ex. som G_0 -tid eller G_{15} -tid per volymenhet. Det finns omräkningsfaktorer mellan tidsenheterna för skördare och skotare, och en god grund i omfattande driftsuppföljning. Detsamma gäller inte drivaren. Studien har gjorts i G_0 -tid och omräkning till G_{15} -tid har varit nödvändig p.g.a. kostnadsmodell. Här användes omräkningsfaktor för skördare, vilket saknar empiriskt stöd för drivaren. Stark avvikelse skulle gissningsvis innebära en förändring av tidsåtgången per volymenhet om ± 5 procent. Detta bedöms dock som mindre sannolikt.

Tack vare snabbfästet kan redskapsskifte ske två gånger per lass med relativt låg tidsåtgång. Redskapsskiftena är frekventa jämfört med de grävare som snabbfästet i första hand är tillverkat för. I kostnadsberäkningarna har livslängden för snabbfästet antagits vara lika som basmaskinens ekonomiska livslängd, vilket är ett osäkert antagande.

Studiens förare föredrog direktlastning då antalet sortiment var färre än fyra. Då fler sortiment avverkades hanterades de minsta sortimenten separat. Sortimentsmetoder med direktlastande drivare vid föryngringsavverkning då många sortiment hanteras är dåligt utrett. Ett tydligt alternativ till separat hantering av minoritetssortiment vid fler än tre sortiment är uteslutande direktlastning. Detta ger förutsättningar för effektivare avverkning men ökar tidsåtgången i lossning p.g.a. större sortimentsblandning på lastbäraren. Med ökat antal sortiment ökar lossningstiden p.g.a. minskande volym per krancykel samt ökat antal förflyttningar vid avlägg. Uteslutande direktlastning med fyra eller fler sortiment bör studeras.

Prototypen X19 är nästan helt byggd av komponenter från skördare och skotare. Bättre anpassning av komponenter bör kunna höja produktiviteten. Studiens förare påpekade att kranen, som är från en skördarmodell, inte har tillräcklig lyfthöjd. Då de sista stockarna upparbetas över lastbäraren behöver föraren tilta hytten bakåt för att nå tillräckligt högt med aggregatet. Detta medför försämrad ergonomi och precision under arbetet p.g.a. sämre sikt.

Johansson (2013) visade på potential att öka produktiviteten med minst 14 procent vid flerträdshantering under gynnsamma förutsättningar. I denna studie hade varken skördaren eller drivaren utrustning för flerträdshantering och de effekterna bör utredas i framtida studier. Om tidigare studiers slutsatser om konkurrensfördelar i klen skog (Bergkvist, 2007; 2008; 2010; 2012; Hallonborg, 1998; 2003) stämmer, lär flerträdshantering ha en kritisk inverkan på tidsåtgången i avverkningsarbetet. Vid upparbetning är drivaren tvingad till att föra varje stam till lastbäraren vid direktlastning. Detta tvingande arbetssätt är till stor del lika för alla stammar. Därmed finns god potential för (del-)automation av kranarbetet vilket kan öka produktiviteten och minska förarens mentala belastning, särskilt kombinerat med sortimentsfack.

Skotningsarbete har hög vibrationsexponering och bör studeras vidare, både för skotare och drivare. Detta motiveras särskilt av risken för att överstiga insatsvärde från EU-direktiv (Granlund & Thor, 2005).

Dieselförbrukningen var 24 procent lägre än beräknad förbrukning enligt norm för skördare och skotare under likvärdiga förutsättningar. I en studie av Bergkvist (2007) förbrukade drivaren 32 procent mindre diesel än skördare och skotare. Resultaten är jämförbara, men endast indikativa, då dieselförbrukningen endast studerades under en begränsad tidsperiod och jämfördes med dieselförbrukning enligt norm. Dieselförbrukningen varierar i lika hög grad som tidsåtgången mellan förare och borde egentligen normeras på samma sätt som prestationen, men härför finns ej tillräckliga underlag. Dieselpumpen som användes vid toppfyllning var inte kalibrerad. För att säkerställa eventuella skillnader mellan systemen krävs, åter, utökade studier av samma förare och samma maskiner vid likvärdiga förutsättningar.

Slutsatser

- X19 hade högre produktivitet med snabbfäste och specialiserade redskap än med kombinationsaggregat.
- X19 har, under de antaganden som gjorts i denna studie, en teoretisk potential att sänka drivningskostnaden med 7–12 procent vid terrängtransportavstånd kortare än 400 meter och med tre sortiment.
- X19 bör i framtiden studeras tillsammans med skördare och skotare med samma förare och på samma trakt för att minska osäkerheten som följer av olika förare och bestånd.
- Simulering är ett utmärkt verktyg för att prediktera vad som händer i ett givet system, men kräver god kunskap om systemet.
- Med hänsyn till drivarsystemets korta utvecklingstid har konceptet sannolikt stor utvecklingspotential jämfört med TMS. Detta bör särskilt gälla metod, eftersom tekniken i hög grad är densamma för båda systemen.

Referenser

- Andersson, J. & Eliasson, L. 2004. Effects of three harvesting work methods on harwarder productivity in final felling. *Silva Fennica* 38(2).
- Arlinger, J., Nordström, M. & Möller, J.J. 2012. StanForD 2010 – Modern kommunikation med skogsmaskiner. Arbetsrapport 784. Skogforsk.
- 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. 2007. Underlag för produktionsnormer för extra stora engreppsskördare i slutavverkning. Redogörelse Nr. 2. Skogforsk.
- Brunberg, T. 2013. Bränsleförbrukningen hos skogsmaskiner 2012. Skogforsk Nr. 789.
- Brunberg, T. 2014. Skogsbrukets produktivitet 2008-2013. Skogforsk Nr. 50.
- 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.
- Johansson, C. 2013. Flerträdshantering i slutavverkning. Arbetsrapport 392. Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Kuitto, P.J., Keskinen, S., Lindroos, J., Ojala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Teräväinen, J. 1994. Mechanized cutting and forest haulage. *Metsäteho Report* 410.
- Lindroos, O. 2011. Evaluation of technical and organizational approaches for directly loading logs in mechanized cut-to-length harvesting. *Forest Science* 58(4).
- Nilsson, G. 1976. Stamfördelningar. Redogörelse Nr. 2. Forskingstiftelsen Skogsarbeten.
- Nurminen, T., Korpunen, H. & Uusitalo, J. 2006. Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. *Silva Fennica* 40(2): 335–363.
- 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.
- von Hofsten, H., Lundström, H., Nordén, B. & Thor, M. 2005. System för uttag av skogsbränsle. Arbetsrapport Nr. 597. Skogforsk.

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; sida 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.

INTERNET

Bildström, M. 2014. Stordrivare testas i Norsjöskogarna. Tidningen Skogen 9. 2014.

<http://www.skogen.se/nyheter/stordrivare-testas-i-norsjoeskogarna>
(Hämtad 2016-02-25)

ExtendSim AT.

http://www.extendsim.com/prods_at.html (Hämtad 2016-05-10).

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. Juli. Sveriges Riksbank.

<http://www.riksbank.se/sv/Rantor-och-valutakurser/Sok-rantor-och-valutakurser/?g5-SEDP3MSTIBOR=on&from=2015-07-01&to=2015-07-31&f=Month&cAverage=Average&cs=Comma> (Hämtad 2016-03-31).

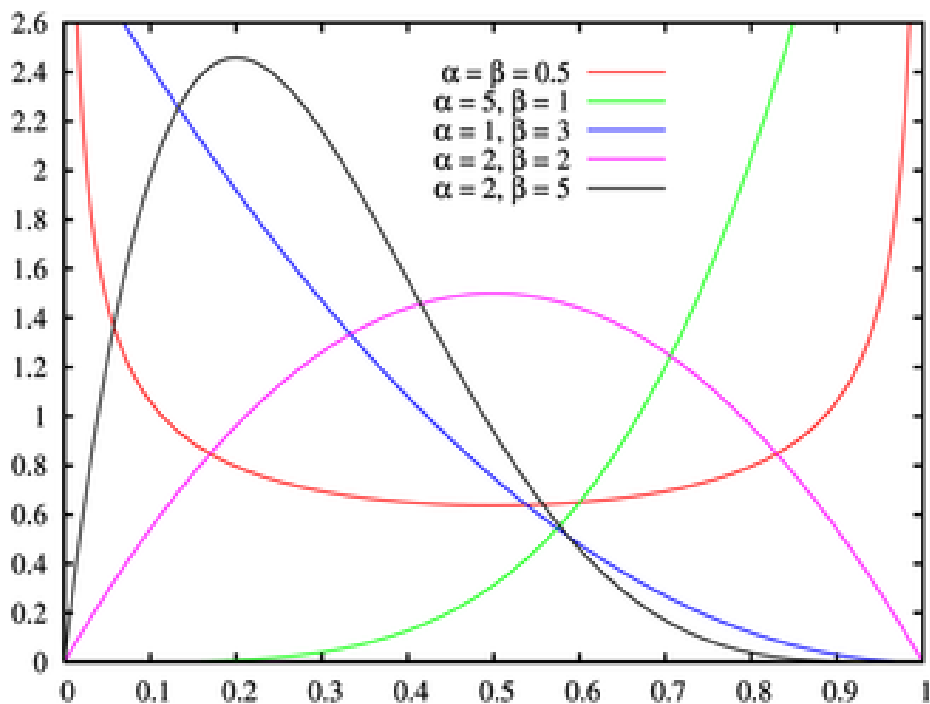
Trädens stamvolym är betafördelade

Betafunktionen är en matematisk funktion med kontinuerlig sannolikhetsfördelning och två strukturparametrar α och β .

$$B(\alpha, \beta) = \int_0^1 t^{\alpha-1} (1-t)^{\beta-1} dt \text{ där } \alpha, \beta > 0$$

Funktionen $t^{\alpha-1}(1-t)^{\beta-1}$ har tidigare använts för simulering av diameterfördelningar (Nilsson, 1976). På grund av sin flexibilitet kan avbildning av både fallande och klockliknande fördelningar tas fram. Exempel på former på funktionen som kan tas fram genom att variera strukturparametrarna α och β .

- $\alpha = \beta < 1$ ger U-formad funktion (röd kurva).
- $\alpha = 1, \beta > 1$ ger en strikt minskande funktion (blå kurva).
- $\alpha > 1, \beta < 1$ ger en strikt ökande funktion (grön kurva).
- $\alpha > 1, \beta > 1$ ger klockformad funktion (svart kurva).

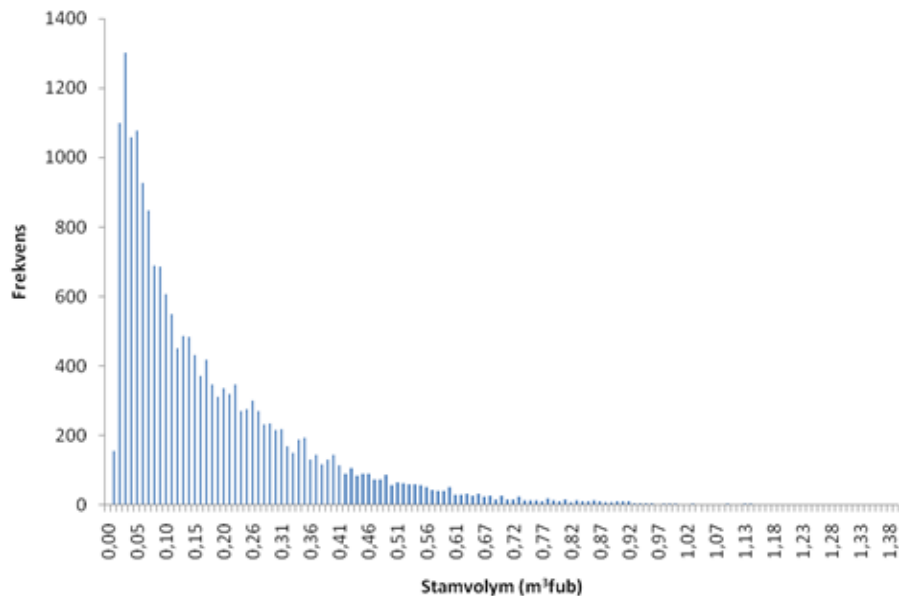


Figur 1.

Exempel på funktionen $t^{\alpha-1}(1-t)^{\beta-1}$

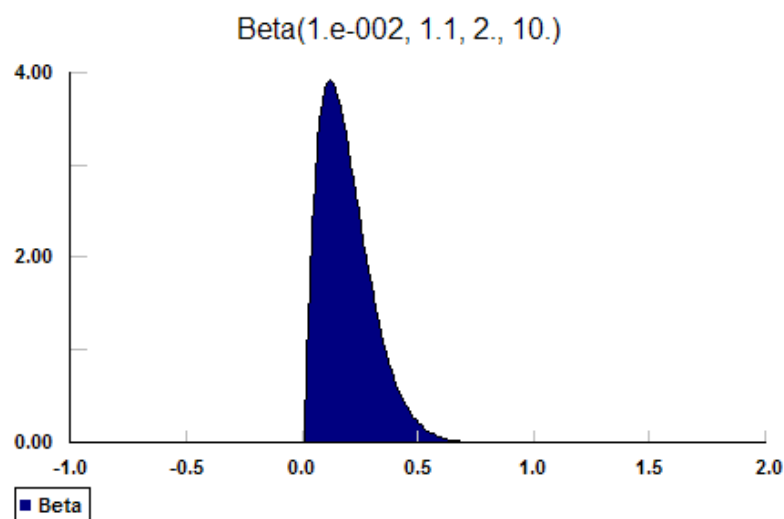
För att i simuleringssammanhang kunna använda sig av antagandet att även enskilda stammars volym, då antalet stammar är tillräckligt stort, är betafördelade har en skördares PRI-filer (volymsuppgifter på varje enskild stock) analyserats.

Den matematiska funktionen är definierad i intervallet $[0,1]$. När fördelningen tillämpas för stamvolym måste den transformeras till ett intervall $[a,b]$, som svarar mot min- och maxvolym som kan tänkas vara av intresse att simulera fram.



Figur 2.
Materialet storlek utgör 18 850 stammar från 10 olika trakter. Trakterna är lokaliserade till mellersta Sverige.

För att utforma betafunktionen så som i Figur 2 med minimum av 0,01 m^3fub och maximum av 1,1. Styr parametrarna α och β till 2 respektive 10, se Figur 3.



Figur 3.
Betafunktion (täthetsfunktionen) med parametrar, min- och maxintervall. Notera att x-axeln inte börjar på 0.

Bilaga 2

Momentindelning drivare och skördare

Under tidsstudierna har endast ett moment noterats åt gången, arbete med aggregat eller grip har prioriterats över annat arbete om fler moment skett samtidigt. 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 X19 och 931 och studiens samtliga moment anges därför tillsammans i Tabell 1.

Tabell 1.

Momentindelning för X19 och 931. 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, 931	Från att topp släpps till att aggregat är 0,5 meter från avverkningsstam.
Fällning	X19, 931	Slutar när avverkningsstammen lättar från stubben.
Intagning	X19, 931	Slutar när aggregatet börjar mata stammen.
Kvistning/ kapning	X19, 931	Slutar när sista virkesbiten kapas.
Topp	X19, 931	Slutar när toppen släpps ur aggregatet.
Körning	X19, 931	Börjar när hjulen börjar snurra inför flytt till ny uppställningsplats och slutar när hjulen stannar.
Röjning	X19, 931	Röjning av underväxt med aggregat. Börjar när aggregatet är 0,5 meter från underväxten och slutar när aggregatet släpper underväxten.
Körning till/från	931	Börjar när hjulen börjar snurra inför transportsträcka mellan avverkningsplats och koja, slutar när hjulen stannar.
Skotningsarbete		
Justering	X19	Justering av virke på lastbäraren.
Vridning av lastbärare	X19	Börjar när lastbäraren börjar röra sig och slutar då lastbäraren stannar.
Tomkörning	X19	Körning från avlägg till lastningsplats.
Körning full	X19	Körning från avverknings-/ 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	Från att gripen flyttas mot lastbäraren inför första krancykeln i lossningen tills gripen återgår inför transport mot avverknings-/ lastningsplats.
Körning vid avlägg	X19	Körning vid avlägg. Från att hjulen börjar snurra tills de slutar snurra vid nästa uppställningsplats.
Moment gemensamma för avverkning och skotning		
Övrigt	X19, 931	Övrigt arbete som är nödvändigt för drivningen, exv. risning av basväg.
Störning	X19, 931	Arbete som inte är nödvändigt för drivningen, exv. telefonsamtal.

Bilaga 3

Rådata för X19 och 931

Insamlade tidsstudiedata har sammanställts tillsammans med nyckelvariabler. Observera att tiderna är ojusterade medeltider, detta innebär att direkt jämförelse saknar statistisk säkerhet. Tiderna är kategoriserade som avverknings- eller skotningsarbete. Volymtäthet och stamantal är beräknade genom volymminmätning från hela avverkningsobjekten och total avverkad areal, och representerar alltså inte uteslutande den studerade arealen (Tabell 1).

Tabell 1.

Tider är kategoriserade som avverknings- eller skotningsarbete och fördelade på X19 och 931. Minuter anges med decimal.

Maskin och utförande	X19 330	X19 365			931
Studiemånad	Februari	Maj	Juni	Augusti	Maj
Bestandsvariabler					
Medelstamvolym	0,21	0,32	0,32	0,21	0,39
Terrängtransportavstånd	258	380	250	198	–
Antal sortiment per lass	3	3	2	3,8	–
Antal sortiment på objektet	5	3	2	6	5
Volymtäthet, m ³ fub/ha	212	167	167	182	168
Stamantal/ha	1120	558	558	930	575
Ytstruktur	1	1	1	2	2
Lutning	1	1	1	3	1
Avlägg, enkel-/dubbelsidigt	Dubbel	Enkel	Dubbel	Dubbel	–
Avverkningsarbete, sekunder/stam					
Kran ut	4,5	4,3	3,3	5,3	3,3
Fällning	3,3	2,4	2,7	2,4	2,6
Intagning	4,9	4,5	4,3	4,3	2,7
Kvistning/ kapning	13,4	14,2	13,3	11,3	10,4
Topp	1,1	1,3	1,3	1,6	1,2
Körning	3,5	3,6	4,2	4,5	4,9
Röjning	0,7	0	0	0,4	1
Körning till/från	–	–	–	–	0
Skotningsarbete, minuter/lass					
Justering	2,6	1,3	1,2	1,8	–
Vridning av lastbärare	1,5	2,7	2	2	–
Tomkörning	4,42	7,76	3,8	4,83	–
Körning full	5,28	5,63	4,61	4,74	–
Av aggregat	–	0,49	0,47	0,47	–
På grip	–	0,48	0,38	0,51	–
Av grip	–	0,42	0,32	0,28	–
På aggregat	–	0,48	0,38	0,51	–
Lossning	15,88	9,08	6,17	7,35	–
Körning vid avlägg	1,43	1,59	0,09	0,97	–
Antal krancykler i lossning	57	28	24	25	–
Gemensamma moment, X19 redovisas som minuter/lass, 931 som sekunder/stam					
Övrigt	0	0	4,5	0	0
Störning	2,2	2,7	1,7	3,3	1,2
Totaltid, X19 redovisas som minuter/lass, 931 som sekunder/stam					
Samtliga moment (utom röjning och störning)	83	67,1	55,2	74,6	25,1

Grundscenario

Resultat bygger på grundscenariet enligt Tabell 1 där annat ej anges. Grundscenariet har konstruerats på bas av genomsnittliga värden för skogsavverkningar i norra Sverige. Drivaren Komatsu X19 med snabbfäste, 365-aggregat och 0,36 m²-grip benämns X19, Komatsu 931 med 365-aggregat benämns 931 och Komatsu 895 benämns 895. Med källa:

- ”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.
- ”SLA-GS” avses Kollektivavtal om löner och allmänna anställningsvillkor mellan Skogs- och Lantarbetsgivareförbundet och GS för tiden 2013-04-01 – 2016-03-31.

Tabell 1.
Grundscenariets antagna värden.

Koefficient	Värde	Källa
Bestånds- och maskinförutsättningar		
Traktstorlek, m ³ fub/år	1 000	Drivargruppen
Terrängtransportavstånd, meter	400	
Medelstamvolym, m ³ fub	0,3	
Antal sortiment/objekt	3	
Stamtäthet, antal stam/ha	600	
Ytstruktur	1,24	Studiemedelvärde
Lutning	1,47	Studiemedelvärde
Stråkbredd X19, meter	10	
Stråkbredd TMS, meter	13	
Körhastighet X19, meter/minut	53,75	Studiemedelvärde
Körhastighet 931, meter/minut	31	Brunberg, 2007
Laststorlek X19, m ³ fub/lass	21,1	
Laststorlek 895, m ³ fub/lass	22,2	
Maskinutnyttjande		
TU X19, %	87	Brunberg, 2014
TU 931, %	87	Brunberg, 2014
TU 895, %	90	Brunberg, 2014
Ställtid vid flytt, G ₁₅ -h/flytt	4	Drivargruppen
Fasta maskinkostnader		
Investeringskostnad, X19	6 000 000	Komatsu Forest AB
Investeringskostnad, 931	4 000 000	Komatsu Forest AB
Investeringskostnad, 895	3 500 000	Komatsu Forest AB
Ekonomisk livslängd, G ₁₅ -timmar	15 000	Drivargruppen
Restvärde på hela investeringen för X19, 931 och 895, %	22	Drivargruppen
Försäkring, X19, kr/år	25 000	SCA Skog AB
Försäkring, 931, kr/år	25 000	SCA Skog AB
Försäkring, 895, kr/år	16 000	SCA Skog AB
Övriga fasta kostnader, X19 (omfattar kostnaden för 1 vagn)	70 000	Drivargruppen
Övriga fasta kostnader, TMS (omfattar kostnaden för 1,5 vagn)	105 000	Drivargruppen
Rörliga maskinkostnader		
Flyttkostnad (trailerkostnad), kr/flytt	4 000	Drivargruppen
Dieselförbrukning X19, 931 och 895, liter/G ₁₅ -h	17	Holmen Skog AB
Oljeförbrukning X19, liter/G ₁₅ -h	0,7	Komatsu Forest AB
Oljeförbrukning 931, 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 931, kr/G ₁₅ -h	200	Drivargruppen
Rep och underhåll 895, kr/G ₁₅ -h	160	Drivargruppen

Fortsättning på Tabell 1.

Globala värden		
Ränta, Stibor 90 + 3 %	2,75	Stibor 90
Dieselpriis exklusive 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 obekvämt arbetstid, U-h/dygn	10,5	SLA-GS
Ob-ersättning, kr/U-h	34,68	SLA-GS
Övertidsersättning, kr/U-h	43,52	SLA-GS
Enkel färdsträcka/anställd/dag, km	35	Drivargruppen
Resersättning, kr/km	3	Drivargruppen

Statistikanalys X19 avverkning

Statistikanalysen av avverkningsarbetet innehöll koefficienterna utförande, invers av medelstamvolymen och virkeskoncentrationen.

Tabell 1.

Statistikanalys av avverkningsarbetet med X19.

Parameter	Estimate		Standard Error	T Value	Pr > t
Intercept	94,0394913	B	24,3304410	3,87	0,0006
Utförande 330	39,3067622	B	8,6221737	4,56	<,0001
Utförande 365	0,0000000	B	.	.	.
Invers av medelstamvolym	36,4870692		3,8102811	9,58	<,0001
Virkeskoncentration	-244,4554194		109,2364079	-2,24	0,0331

Statistikanalys X19 lossning

Statistikanalysen av lossningsarbetet innehöll koefficienterna utförande och antal sortiment på lastbäraren.

Tabell 1.
Statistikanalys av lossningsarbete med X19.

Parameter	Estimate		Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	55,16023166	B	4,57435563	12,06	<,0001
Utförande 330	30,40278801	B	2,86712913	10,60	<,0001
Utförande 365	0,00000000	B	.	.	.
Antal sortiment på lastbäraren 2	-20,53889586	B	5,11428507	-4,02	0,0004
Antal sortiment på lastbäraren 3	-3,74730088	B	4,89019187	-0,77	0,4497
Antal sortiment på lastbäraren 4	-8,81749290	B	6,46911578	-1,36	0,1834
Antal sortiment på lastbäraren 5	0,00000000	B	.	.	.

Vid lossningsarbete åtgår mer tid med ökat antal sortiment (Brunberg, 2004). Mönstret ses tydligt vid övergången från två till tre sortiment på lastbäraren och även från fyra till fem. Mellan två och tre visar sig dock ett mönster som är svårförklarat, men som sannolikt beror på yttre faktorer inom ett fåtal observationer (Tabell 1). Observationerna med två sortiment på lastbäraren gjordes i en homogen tallskog. Observationerna med fyra och fem sortiment gjordes i mer heterogena skogar med ojämn fördelning av sortimenten. Resultaten skulle sannolikt jämnas ut sig med ökat antal observationer.

Statistikanalys 931

Statistikanalysen av avverkningsarbetet för 931 innehöll invers av medelstamvolymen.

Tabell 1.

Statistikanalys av avverkningsarbete med 931.

Parameter	Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	0,5077473500	0,07130233	7,12	<,0001
invers av stamvolym	0,2388116208	0,00423824	56,35	<,0001

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 – Projektrapport. 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., Asmomp, 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 Björheden, R. 2016. Mekaniserad avverkning av grova lövträd - en litteraturstudie. – Mechanised harvesting of large-size hardwood trees – a literature study. 26 s.
- 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., Lundström, H. & Manner J. 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 heavy-timber 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. – Potentialer 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 Manner, J., Björheden, R., Jonsson, R., Jönsson, P. & Lundström, H. 2016. Prestation och drivningskostnad för drivarprototypen Komatsu X19 jämfört med ett konventionellt tvåmaskinsystem. – Productivity and logging costs of the harwarder prototype Komatsu X19 and a conventional CTL system. 27 s.
- Nr 917 Bergqvist, M., Björheden, R. & Eliasson, L. 2016. Kompakteringseffekter på skogsbilvägar – Compactation effects on Forest roads. 24 s.

SKOGFORSK

– Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut

arbetar för ett lönsamt, uthålligt mångbruk av skogen. Bakom Skogforsk står skogsföretagen, skogsägareföreningarna, stiften, 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. 911–2016



www.skogforsk.se