

ARBETSRAPPORT

FRÅN SKOGFORSK NR 616 2006



Besten med två virkeskurirer – STUDIER AV PRESTATION OCH BRÄNSLEFÖRBRUKNING

Isabelle Bergkvist, Berndt Nordén & Hagos Lundström

Ämnesord: Besten, drivning, förarlös avverkning, systemanalys.

Skogforsk – Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut

Skogforsk arbetar för ett långsiktigt, lönsamt skogsbruk på ekologisk grund. Bakom Skogforsk står skogsbolag, skogsägareföreningar, stift, gods, allmänningar, plantskolor, SkogsMaskinFöretagarna 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.

Skogforsk arbetar med forskning och utveckling med fokus på tre centrala frågeställningar: Skogsodlingsmaterial, Skogsskötsel samt Råvaruutnyttjande och produktionseffektivitet. På de områden där Skogforsk har särskild kompetens utförs även i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter.

Serien ARBETSRAPPORT dokumenterar långliggande försök samt inventeringar, studier m.m. och distribueras enbart efter särskild beställning.

Forsknings- och försöksresultat från Skogforsk publiceras i följande serier:

NYTT: Nyheter, sammanfattningar, översikter.

RESULTAT: Slutsatser och rekommendationer i lättillgänglig form.

REDOGÖRELSE: Utförlig redovisning av genomfört forskningsarbete.

HANDLEDNINGAR: Anvisningar för hur olika arbeten lämpligen utförs.

ISSN 1404-305X

Innehåll

Sammanfattning.....	2
Bakgrund	2
Syfte.....	3
Genomförande	3
Bestånd och yttre förhållande	3
Maskin	4
Metod	4
Resultat	4
Prestation	7
Analys	9
Prestation	9
Kostnad.....	10
Kostnad per objekt.....	11
Kostnad per år.....	12
Diskussion.....	13
Slutsatser och frågeställningar	15
Litteratur.....	15
Bilaga 1	17

Sammanfattning

Under vårvintern 2006 studerades systemet ”Besten med två virkeskurirer” i grov slutavverkning norr om Karlsborg i Västergötland, markvärd var Sveaskog. Beståndsförutsättningarna och väderförhållandena under studien var mycket goda. Målsättningen med studien var att studera prestation och bränsleförbrukning i slutavverkning samt att göra en analys av kostnaden.

Vid transportavstånd på 100 m var prestationen 36–42 m³fub per G₀-timme beroende på medelstamvolym. Bestensystemet uppnådde högst prestation vid transportavstånd upp till ca 400 m. Vid längre transportavstånd uppstår väntetider för avverkningsenheten Besten, och därmed minskad prestation för systemet.

Bränsleåtgången uppmättes till 0,74 l/m³fub vid 100 m transportavstånd, och skattades till knappt 0,9 l/m³fub vid 350 m transportavstånd.

Enligt studieresultaten och våra antaganden om kostnader kan Bestensystemet redan i detta tidiga stadium konkurrera med Tvåmaskinsystemet sett ur ett systemperspektiv. I grov slutavverkning då 1,5 skotare måste användas för att matcha skördarens prestation, beräknas kostnaden för Bestensystemet kunna vara 15–20 % lägre än för Tvåmaskinsystemet.

Ytterligare fördelar med Bestensystemet inkluderar bl.a. korta ledtider, inget kvarlämnat, nersmutsat eller översnöat virke samt bra ergonomi p.g.a. arbetsväxling och tystare förarmiljö. Kvarvarande frågeställningar rör t.ex. det faktum att alla ingående enheter måste ligga i fas, vilket innebär att prestationen för hela systemet påverkas negativt om en enhet tappar i tempo och prestation. Stillestånd på Besten innebär också stillestånd på kurirerna. I detta relativt tidiga utvecklingskede är faktorer som TU och tillverkningskostnad naturligen outredda. I vilken mån den höga prestationen och den låga bränsleförbrukningen kan bibehållas i praktisk drift, får framtida uppföljning och studier utvisa. Sammantaget är resultaten mycket lovande.

Bakgrund

Skogsbruket måste sänka kostnaderna med 2–3 % årligen för att behålla sin konkurrenskraft. För att detta skall vara möjligt krävs en ständig utveckling av teknik och metoder för bl.a. avverkning och terrängtransporter. Fiberpac AB i Vislanda har utvecklat ett slutavverkningssystem med en fjärrstyrd skördarenhet som styrs från bemannade skotare eller kurirer. Besten med virkeskurir som systemet kallas, har varit under utveckling sedan 2002. Maskinsystemet bestod från början av en fjärrstyrd skördarenhet, Besten samt en skotare med vrid- och tiltbart lastutrymme. Skotaren var även utrustad med en fjärrstyrningsenhet och dator som kommunicerar med apteringsdatorn i Besten. Systemet studerades i en pilotstudie på SLU 2004, där man även bedömde möjligheten att öka produktionen genom att använda ytterligare en kurir (Eriksson, 2004). Skogforsk genomförde under tidigt 2000-tal en teoretisk analys av olika semi-autonoma system (Hallonborg, 2003). Bestensystemet – då okänt för rapportförfattaren – kan sägas vara representerat i analysen, men antaganden om kostnader och prestation var inte grundade på studier, utan på antaganden. Under 2005 kompletterades systemet med ytterligare en kurir,

samt att kran- och aggregat utvecklades jämfört med den första prototypen. Systemet har i nuvarande utförande varit i praktisk drift sedan årsskiftet 2005/2006 men har under de första tre månaderna uteslutande upparbetat stormfällad skog.

Syfte

Syftet var att studera systemet ”Besten med två virkeskurirer” i slutavverkning, samt att utvärdera systemet när det kompletterats med ytterligare en kurir. Studien gjordes med avseende på prestation, bränsleförbrukning och beräknad kostnad.

Genomförande

I mars 2006 genomfördes en studie av Bestensystemet i samarbete mellan Fiberpac, Skogforsk och med Sveaskog som markvärd. Studien genomfördes i två närbelägna bestånd på Sveaskogs innehav ca 1 mil norr om Karlsborg i Västergötland. Strävan var att studera systemet i ett grovt och i ett mindre grovt bestånd. Prestationen mättes genom tidsstudier av ett antal träd som klavats och diametermärkts i förväg. En tidsstudieman studerade vardera kurir under arbetet som delades in i korta avgränsade moment (se bilaga 1). Tidsstudieman var Berndt Nordén och Hagos Lundström, Skogforsk. Bränsleåtgången mättes genom att dunkar med en bestämd mängd bränsle kopplades till respektive maskinenhet. Förbrukningen mättes sedan efter avverkning av en uppmätt volym virke.

BESTÅND OCH YTTRE FÖRHÅLLANDE

Det grövre beståndet bestod av enbart gran med liten diameterspridning. Medelstamvolymen var 0,94 m³fub/st och terrängen var jämn, bortsett från ett fuktigt parti mitt i beståndet. Medeltransportavståndet var 100 m och man tog endast ut tre sortiment: timmer, massaved och brännved. Det något klenare beståndet hade en medelstamvolym på 0,55 m³fub/st och var även det grandominerat, men med inslag av ett fåtal grövre tallar. Medeltransportavståndet var ca 200 m och terrängen medelgod där inslag av hållmark inte utgjorde något större hinder. Sortimentsutfallet var begränsat till tall/gran: timmer, barrmassaved och brännved. Under studien var marken snötäckt men vädret var stabilt med ett par minusgrader och sol. Snötäcket bedömdes inte påverka prestationen.

Tabell 1.
Beståndsförutsättningar.

Studiebestånd	Trädslag	Avv. areal	Stamantal	Medelstamvolym	Trsp.-avstånd
Grovt	0X0	0,6 ha	400 st/ha	0,94 m ³ fub/st	100 m
Klenare	190	0,3 ha	600 st/ha	0,55 m ³ fub/st	200 m

MASKIN

Besten har ibland felaktigt kallats skördarrobot. Mer korrekt är att benämna systemet som skotare/kurirer med separat och radiostyrd avverkningsenhet. Skördarenheten som studerades benämns alltså Besten, den maskin som studerades var 3,1 m bred, 8,5 m lång och 3,4 m hög. Höjden och längden kunde justeras och utökas vid arbete i terrängen. Vikten var ca 19 ton. Maskinen var utrustad med en John Deere 8.1 med motoreffekten 185 kW. Kran- och aggregat var delvis egentillverkade men aggregatet bygger på en Rottne 700 där all hydraulik har modifierats. Kranen var 9 m lång inklusive ett 3 m utskjut. Ett Dasa styrsystem styr alla funktioner på Besten, vilket innebär aptering, temperatur, oljenivå samt rapportering till kurirerna. Kurirerna som användes i studien var en Rottne Rapid SMV och en Timberjack 1410. Maskinerna var utrustade med en Dasa manöverutrustning som via trådlös överföring kommunicerar med Bestens alla funktioner. Vidare var kurirerna utrustade med ett vrid- och tiltbart lastutrymme som även kunde breddas vid avverkning och lastning med hjälp av vikbara stöttor. Förare under studien var Christer Lennartsson, som även konstruerat systemet tillsammans med Jan Carlsson, och Andreas Isaksson, anställda på Södra Skog och utlånad under våren för att köra kurir 2, vilken ägs av Södra. Båda förarna är vana skördarförare, Andreas hade dock begränsad erfarenhet av att köra systemet i stående skog.

METOD

Systemet är som mest produktivt när avverkningen sker utan uppehåll. Eventuell väntetid skall alltså läggas på kurirerna så långt det är möjligt och lasset skall alltid fyllas till 100 %. Besten styrs av den kurir som befinner sig närmast och all upparbetning sker direkt upp på lasset. Under ideala förhållanden har den kurir som styr Besten fullt lass samtidigt som den andra kuriren är färdig med lossning- och transportarbete. Växling av kurirer kan ske utan väntetider. Kuriren som nyss fyllt sitt lass kan därefter påbörja transport ut till avlägg och lossningsarbete medan kuriren med tomt lass tar över fjärrstyrningen av Besten och fortsätter avverkningsarbetet. Det går inte att undvika en del väntetider på kurirerna vid kortare transportavstånd. I syfte att ytterligare öka produktiviteten i avverkningen kan därför i stort sett all sortering ske vid avlägg. För att effektivisera sorteringen vid avlägg kan dock en grovsortering göras vid avverkningen och arbetet kan även underlättas med färgmärkning.

Resultat

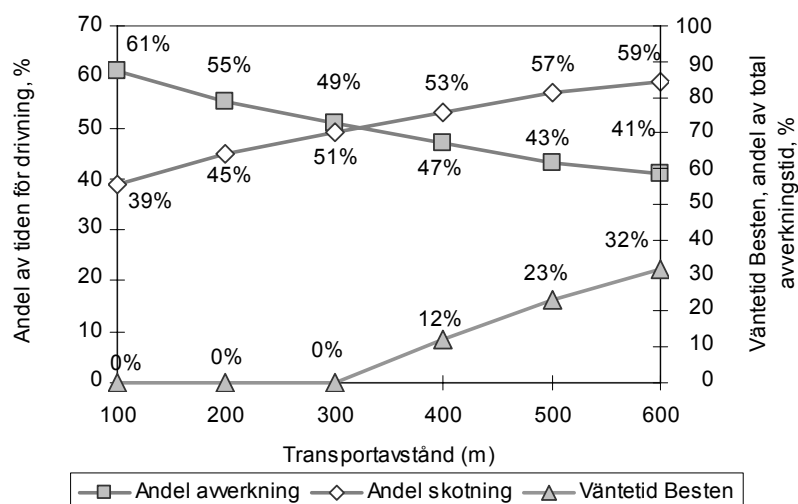
I det första beståndet som avverkades var förhållandena mycket goda. Beståndet utgjordes av mycket grov granskog, medelstamvolym $0,94 \text{ m}^3 \text{ fub/st}$, medeltransportavståndet var kort (100 m) och diameterspridningen jämn (tabell 1). Detta resulterade i en hög prestation, $41,7 \text{ m}^3 \text{ fub per } G_0\text{-timme}$ eller ca $31,3 \text{ m}^3 \text{ fub}/G_{15}\text{-timme}$ vid bilväg där nästan 60 % av den totala tidsåtgången utnyttjades för avverkning (tabell 2). Tabellen visar även att kurirerna hade en väntetid på 6,2 min/lass vid 100 m transportavstånd. Väntetid på kurirerna har dock ingen betydelse för varken prestation eller kostnad, vilka endast påverkas av avverkningsenhetens effektiva tidsutnyttjande.

Tabell 2.

Tidsåtgång (i cmin) för olika moment, samt prestation vid avverkning i det grövsta beståndet. Medelstamvolym 0,94 m³fub/st och medeltransportavstånd 100 m. Förflyttningen av kurir och Besten skedde delvis samtidigt. Omvandlingstalet mellan G₀- och G₁₅-timme har skattats med tanke på avbrott, störningar och "studieeffekt".

Tidsåtgång (cmin)	per träd	per m ³ fub	per lass	% av total tid
Förflyttning Kurir	14,8	15,7	231,7	6
Förflyttning Besten	9,8	10,3	151,7	4
Kran ut	9,2	9,7	143,9	4
Positionering	7	7,5	110,1	3
Fällning	8,8	9,3	137,8	4
Intagning	16,3	17,2	254,6	7
Lasspositionering	2,9	3,1	45,5	1
Kvistning/kapning	47,7	50,5	746,8	21
Topp	3,9	4,2	61,8	2
Justering	3,4	3,6	53,8	1
Kurirskifte	12,1	12,9	190,1	5
Summa avverkning	135,9	144	2 127,8	58
Prestation per G ₀ -timme	44,2	41,7	2,8	
Per G ₁₅ -timme (0,75 × G ₀ -timme)	33,1	31,3	2,1	
Lasskörning	12,6	13,3	196,9	5
flytt på avlägg	5	5,3	77,8	2
lossning	66,6	70,6	1 043,3	29
Tomkörning	12,3	13,1	193,5	5
Summa skotning	96,5	102,3	1 511,5	42
Väntetid (min)	0,4	0,4	6,2	

I figur 1 visas hur den effektiva avverkningstiden påverkas av olika transportavstånd. Vid transportavstånd över ca 350 m tar skotningen längre tid än avverkningen (förutsatt att 2 kurirer används), vilket innebar väntetid på Besten. Ett transportavstånd på 600 m skulle enligt prestationen i studien innebära att avverkningen står stilla en tredjedel av tiden (32 %, figur 1). Detta påverkar prestationen och även kostnaden negativt eftersom systemets totala kostnad skall slås ut på en mindre avverkad volym per timme. Alternativt kan ytterligare en kurir sättas in vid långa transportavstånd och därigenom undvika väntetid på Besten, detta skall dock vägas mot en högre timkostnad på systemet. Framryckningshastigheten i skotningen är satt till 50 m/min vid lasskörning och 55 m/min vid tomkörning, vilket är genomsnittet av de hastigheter som uppmättes vid studien.



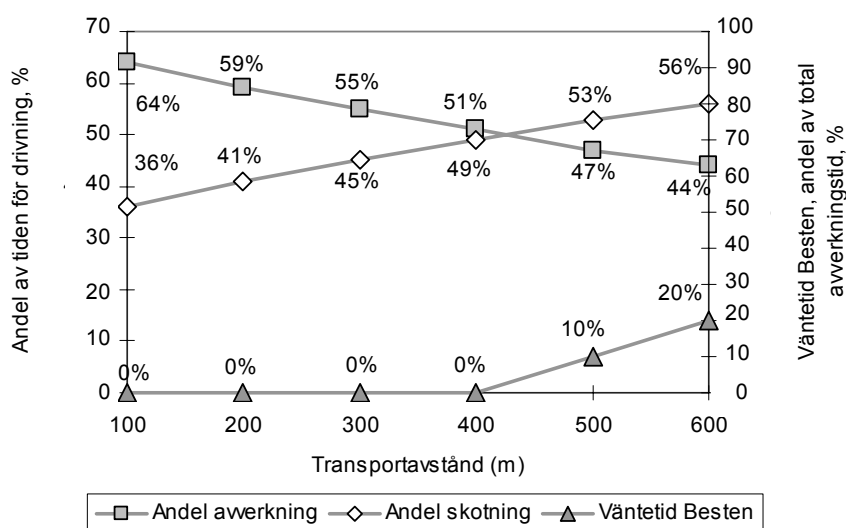
Figur 1.
Förhållande mellan avverkning och skotning vid olika medeltransportavstånd i grov skog, 0,94 m³fub/st.

I det något klenare beståndet (0,55 m³fub/st) var medeltransportavståndet det dubbla (200 m), tabell 3. Skotningstiden per lass dubblades men andelen avverkningstid var ändå högre i det något klenare beståndet. Anledningen till detta är att i ett klenare bestånd läggs generellt mer tid på avverkning i förhållande till skotning. Den klenare skogen innebar även en sänkning av prestationen till 35,8 m³fub per G₀-timme eller 26,9 m³fub/G₁₅-timme, tabell 3.

Tabell 3.
Tidsåtgång (i cmin) för olika moment, samt prestation vid avverkning i det något klenare beståndet. Medelstamvolym 0,55 m³fub/st och medeltransportavstånd 200 m. Förflyttningen av kurir och Besten skedde delvis samtidigt. Omvandlingstalet mellan G₀- och G₁₅-timme har skattats med tanke på avbrott, störningar och "studieeffekt".

Tidsåtgång (cmin)	per träd	per m ³ fub	per lass	%, av total tid
Förflyttning Kurir	11	22	344,8	8
Förflyttning Besten	3,4	6,5	104,4	2
Kran ut	8,5	16	259,6	6
Positionering	5,9	11	178,7	4
Fällning	4,7	9	143,9	3
Intagning	8,4	16	254,8	6
Lasspositionering	1,2	2,3	37,4	1
Kvistning/kapning	17	51,6	830,4	19
Topp	4,1	7,7	123,9	3
Justering	1	2	33	1
Kurirskifte	12,7	23,3	395,2	9
Summa avverkning	77,9	167,4	2 706,1	61
Per G ₀ -timme	77,0	35,8	2,2	
Per G ₁₅ -timme (0,75 × G ₀ -timme)	57,8	26,9	1,7	
Lasskörning	18	34	417	9
Flytt på avlägg	0	0	0	0
Lossning	43	81,9	1 004	23
Tomkörning	14	26,6	326	7
Summa skotning	75	142,5	1 747	39
Väntetid (min)	0,0	0,2	9,6	

I och med att andelen avverkning blir större i förhållande till andelen skotning vid klenare medelstamvolym kan medeltransportavståndet uppgå till drygt 400 m innan skotningsandelen överstiger avverkningstiden, förutsatt de prestationer som uppmättes i studien. Även i denna beräkning antas framrycknings-hastigheterna vara 55 m/min vid tomkörning och 50 m/min vid lasskörning. Väntetiden för Besten blir enligt studieresultaten ca 20 % av avverkningstiden vid 600 m transportavstånd och med två kurirer, figur 2.



Figur 2. Förhållande mellan avverkning och skotning vid olika medeltransportavstånd i något klenare skog.

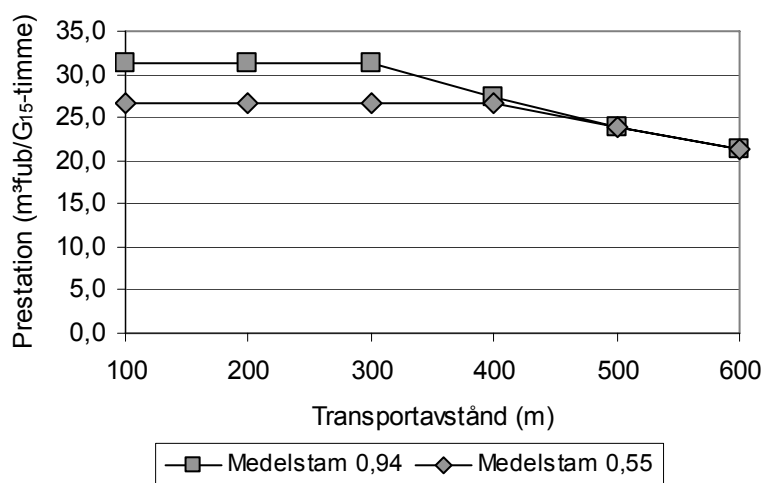
PRESTATION

Tidsåtgång för de olika momenten, samt prestation i avverkningen är ett medelvärde för de båda förarna. Skillnaden mellan förarna var relativt liten, endast ca 1 m³fub/G₁₅-timme i båda beståndstyperna, trots att den ena föraren hade begränsad erfarenhet av systemet.

Så länge väntetiden är noll för avverkningsenheten ligger prestationen för systemet på en jämn (och samma) nivå. I de studerade bestånden uppstår väntetider om transportavståndet överstiger 300–400 m, beroende på medelstamvolym, och då minskar prestationen. Prestationsminskningen vid långa transportavstånd är inte linjär. Anledningen är att vid lägre andel avverkningstid i förhållande till skotningstid påverkas prestationen mer av den extra tid för förflyttning mellan uppställningsplatser som orsakas av att två maskiner flyttas, samt av tiden för kurirbyte, tabell 4. Besten och kuriren flyttas delvis samtidigt och extra tid för flyttning av två maskiner kan förmodligen minimeras med en van förare. I det grövre beståndet orsakar 32 % väntetid för Besten också en minskning av prestationen med ca 30 %, tabell 4 och figur 3. I ett klenare bestånd påverkas inte den relativa avverkningstiden lika mycket av långa transportavstånd eftersom avverkningen i det klenare beståndet från början tar förhållandevis längre tid än skotningen, tabell 4. Detta medför att prestationsförlusterna inte blir lika stora i klenare bestånd. Prestationskurvorna i studien planar därför ut och möts vid långa transportavstånd, figur 3.

Tabell 4.
Väntetid i avverkningen och prestation vid olika medelstam och transportavstånd.

Transportavstånd	100 m	200 m	300 m	400 m	500 m	600 m
Medelstam 0,94		Tidsåtgång (cmin/lass)				
Väntetid Besten (min)	0	0	0	3,2	7,0	10,8
Lass/ G ₁₅ -timme (0,75 × G ₀ -timme)	2,0	2,0	2,0	1,7	1,5	1,3
m ³ fub/ G ₁₅ -timme	31,3	31,3	31,3	27,4	24,0	21,3
Medelstam 0,55		Tidsåtgång (cmin/lass)				
Väntetid Besten (min)	0	0	0	0	3	6,8
Lass/ G ₁₅ -timme (0,75 × G ₀ -timme)	1,7	1,7	1,7	1,7	1,5	1,3
m ³ fub/G ₁₅ -timme	26,6	26,6	26,6	26,6	24,0	21,3



Figur 3.
Transportavståndets påverkan på prestationen vid olika medelstamvolym.

Bränsleförbrukning

Bränsleförbrukningen studerades i det grövre beståndet och uppmättes till 164 l på 221,74 avverkade och uttransporterade m³fub. Bränsleförbrukningen i studien var alltså 0,74 l/m³fub (tabell 5), vilket är en mycket låg förbrukning jämfört med det traditionella Tvåmaskinsystemet som har en förbrukning i intervallet 1,1 – 1,5 l/m³fub (Brunberg m.fl., 2005). Noterbart är dock att transportavståndet endast var 100 m och kurirerna hade en väntetid på drygt 6 minuter per lass, vilket innebar en stor andel tomgångskörning på kurirerna. För att få en uppfattning av bränsleförbrukningen vid 100 % utnyttjande av kurirerna skattades förbrukningen för medeltransportavståndet till 350 m. Avståndet 350 m var det ungefärliga där väntetiden kan antas vara 0 för Besten respektive för kurirerna vid den medelstamvolym som uppmättes i studien. Bränsleförbrukningen vid terrängkörning har uppmätts vid tidigare Skogforskstudier och var då för motsvarande storlek på skotare 0,38 l/100 m, (0,32 l/100 m vid tomkörning och 0,44 l/100 m vid lasskörning) (Brunberg m.fl., 2000). Ökar terrängtransportavståndet till 350 m (700 m per lass) kan man alltså anta att förbrukningen ökar med 1,9 l/lass. Vid studien kördes 15 lass varav 9 lass med kurir 1 och 6 lass med kurir 2. Detta innebär att

bränsleåtgången vid 350 m medeltransportavstånd skulle öka till 53,1 l för kurir 1 och 34,4 l för kurir 2, vilket ger en totalförbrukning på 0,87 l/m³fub, tabell 5. Det skulle således motsvara en sänkning med 20–40 % jämfört med Tvåmaskinsystemet.

Tabell 5.

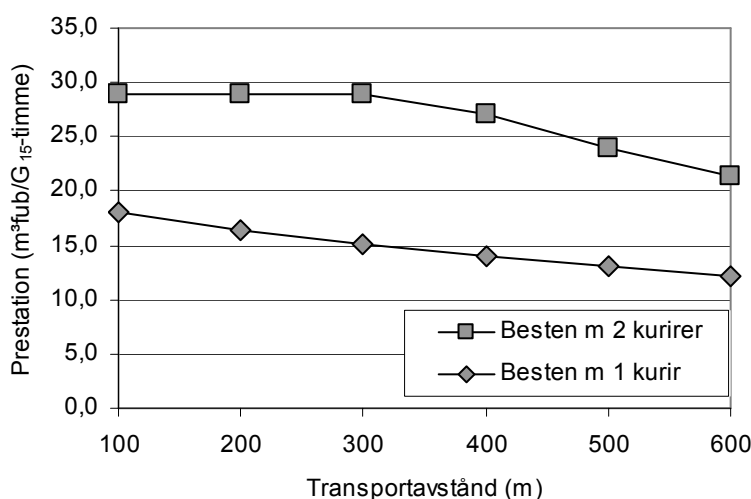
Studie av bränsleförbrukningen vid avverkning i det grövsta beståndet, samt uppskattning av bränsleförbrukningen vid 350 m medeltransportavstånd.

Maskin	Bränsleåtgång	Volym	Förbrukning l/m ³ fub	Uppskattad bränsleåtgång vid 350 m medeltransportavstånd	Uppskattad förbrukning l/m ³ fub
Kurir 1	36 l	135,6 m ³ fub	0,27 l/m ³ fub	53,1 l	0,39 l/m ³ fub
Kurir 2	23 l	86,2 m ³ fub	0,27 l/m ³ fub	34,4 l	0,4 l/m ³ fub
Besten	105 l	221,8 m ³ fub	0,47 l/m ³ fub	105 l	0,47 l/m ³ fub
Totalt	164 l	221,8 m ³ fub	0,74 l/m ³ fub	192,5 l	0,87 l/m ³ fub

Analys

PRESTATION

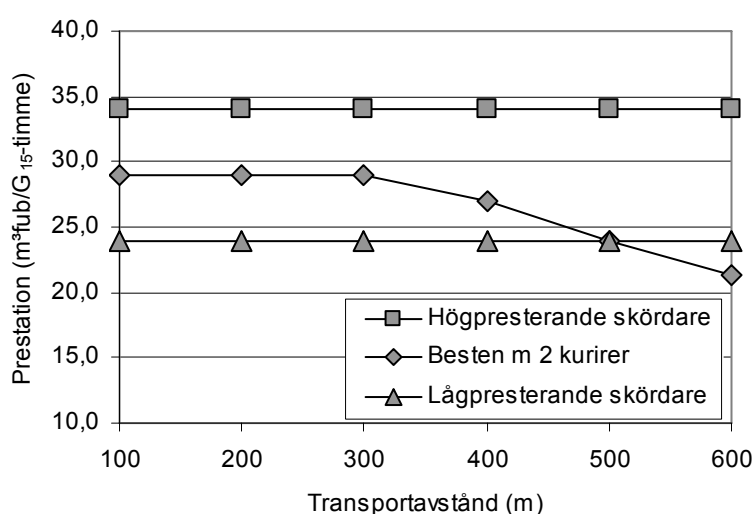
I figur 4 har en medelprestation för Besten med två kurirer beräknats med utgångspunkt i prestation vid olika medeltransportavstånd i de båda studerade bestånden. Något förenklat kan man anta att detta motsvarar Bestensystemets prestation vid medelstamvolymen 0,75 m³fub/st och med transportavstånden 100–600 m, figur 4. Med hjälp av momenttiderna i tabell 2 och 3 har prestationen vid samma medelstamvolym beräknats, om en kurir tas bort från systemet. Detta ger en uppskattad skillnad mellan systemen Besten med en kurir respektive två kurirer, figur 4. Används endast en kurir i systemet belastas avverkningen vid samtliga transportavstånd med en väntetid, vilken ökar linjärt med transportavståndet. Används två kurirer i systemet kan prestationen fördubblas vid 300 m transportavstånd eftersom avverkningen inte belastas med väntetider, utöver kurirbytena, figur 4.



Figur 4.

Prestationsjämförelse mellan Besten med en respektive två kurirer, medelstamvolym 0,75 m³fub/st.

Prestationskurvan för Bestensystemet vid medelstamvolymen 0,75 m³fub/st har i figur 5 jämförts med prestationen för slutavverknings-skördare (medelstora till stora, typ John Deere 1270 till Valmet 941). Prestationen för slutavverknings-skördare vid medelstamvolymen 0,75 m³fub/st illustreras i figuren av ett intervall mellan 24 och 34 m³fub/G₁₅-timme (det finns både bättre och sämre exempel men intervallet anses spegla verkligheten relativt väl). Anledningen till intervallet är att det finns ett stort antal skördare avsedda för slutavverknings och prestationen varierar stort både p.g.a. storleken på maskinen, samt mellan olika förare. Det är viktigt att notera att virket efter avverknings med Bestensystemet ligger vid bilväg till skillnad från då avverknings sker med traditionella skördare där virket hamnar på mellanlager i skogen. Lagringstiden är beroende av när skotaren kommer på plats och kan variera mellan en dag till några veckor.



Figur 5. Prestationsjämförelse mellan Besten med virkeskurir och engreppsskördare vid olika transportavstånd. Medelstamvolym 0,75 m³fub/st. Notera att virket ligger vid bilväg med Bestensystemet, medan det i skördarsystemet tillkommer en terrängtransport.

KOSTNAD

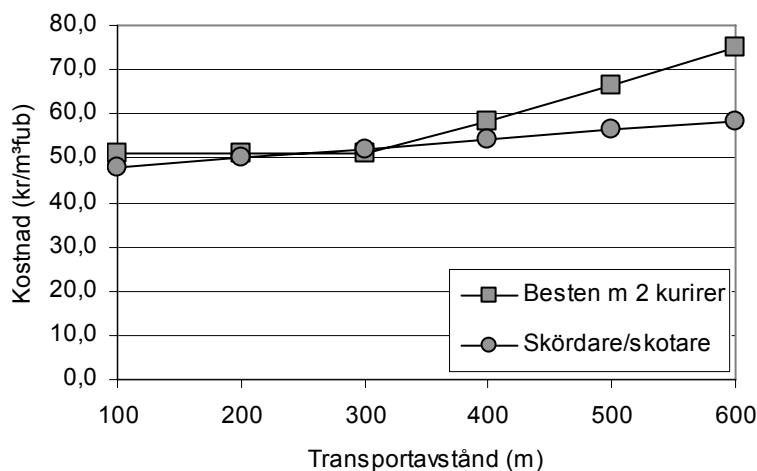
Det är svårt att sätta en kostnad på Bestensystemet eftersom det ännu inte har producerats kommersiellt. Enligt tillverkarna borde kostnaden för avverkningsenheten ligga mellan 300 och 400 kr/G₁₅-timme och kostnaden för kurirerna mellan 500 och 600 kr/G₁₅-timme per kurir, tabell 6. I kostnadsanalyserna har de högre värdena använts i syfte att undvika ”glädjekalkyler”. Förmodligen kan kostnaderna minska om systemet tillverkas i större serier. Även kostnaden för Tvåmaskinsystemet är satt relativt högt jämfört med vad som är praxis i skogsbruket, men de värdena bygger på maskinkalkyler i maskinkalkylprogram som finns på marknaden. Kostnaden för en slutavverknings-skördare är satt till 900 kr/G₁₅-timme för en medelstor till stor skördare (typ JD 1270 till Valmet 941). Kostnaden för en stor (17 ton) skotare är satt till 600 kr/G₁₅-timme, tabell 6. Prestationen för dessa maskiner är hämtad från de prestationsnormer för medelstora till stora skogsmaskiner som används av skogsbolagen (normerna är konfidentiella och redovisas därför ej här). Systemkostnaderna bygger på kostnader för nya maskiner.

Tabell 6.
Ingående maskiner och kalkylkostnader för de olika systemen.

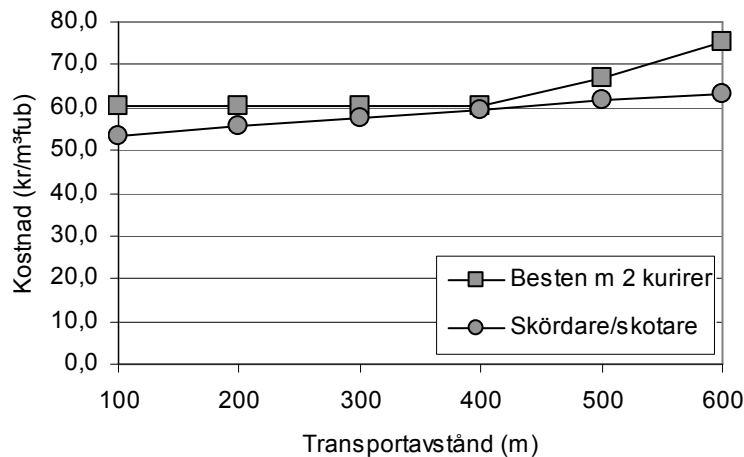
	Avverkningsenhet	Maskiner och kostnader per G ₁₅ -timme		Summa
		Skotare/Kurir 1	Skotare/Kurir 2	
Besten med en kurir	400	600		1 000 kr/G ₁₅ -timme
Besten med två kurirer	400	600	600	1 600 kr/G ₁₅ -timme
Tvåmaskinsystem	900	600		1 500 kr/G ₁₅ -timme

KOSTNAD PER OBJEKT

Vid en kostnadsjämförelse i ett kort tidsperspektiv eller på beståndsnivå missgynnas Bestensystemet av att det är ett s.k. ”hett” system där de ingående maskinerna ständigt måste ligga i fas. Detta kan alltså innebära väntetider för skördarenheten och därmed minskad prestation vid besvärliga skotningsförhållanden. I Tvåmaskinsystemet finns i stället möjligheten att skotaren ligger en eller ett par avverkningar efter skördaren. Maskinsystemets totala prestation hämmas inte av att skotaren har en lägre produktion än skördaren. På objektsnivå jämförs alltså Bestensystemet med ett 1:1-förhållande mellan skördare och skotare. I figur 6 och 7 har kostnaden per m³fub för Besten med två virkeskurirer jämförts med kostnaden per m³fub för en stor skördare och en stor skotare. I jämförelsen är skördarens prestation satt till 32 m³fub/G₁₅-timme, vilket är en medelprestation för stora till medelstora skördare enligt bolagens prestationsnormer. En stor skotare presterar enligt samma norm från 30 till 20 m³fub/-G₁₅-timme vid 100 till 600 m transportavstånd. Vid den grova medelstamvolymen som vi hade i det första studerade beståndet var kostnaden för Besten med två kurirer i stort sett densamma som för skördar/skotarsystemet upp till 350 m transportavstånd, figur 6. Den något klenare medelstamvolymen i det andra studerade beståndet innebar en lägre prestationsnivå och systemet når inte riktigt Tvåmaskinsystemets låga kostnadsnivå förrän vid ca 400 m transportavstånd. Å andra sidan ger den förhållandevis större andel avverkningstid i det klenare beståndet en möjlighet för Bestensystemet att kostnadsmässigt ligga i nivå med Tvåmaskinsystemet vid längre transportavstånd, figur 7. Kan prestationen öka när systemet trimmats och då förarna ökar sin kapacitet, borde Bestensystemet ha stora möjligheter att konkurrera kostnadsmässigt med Tvåmaskinsystemet även i ett klenare bestånd.



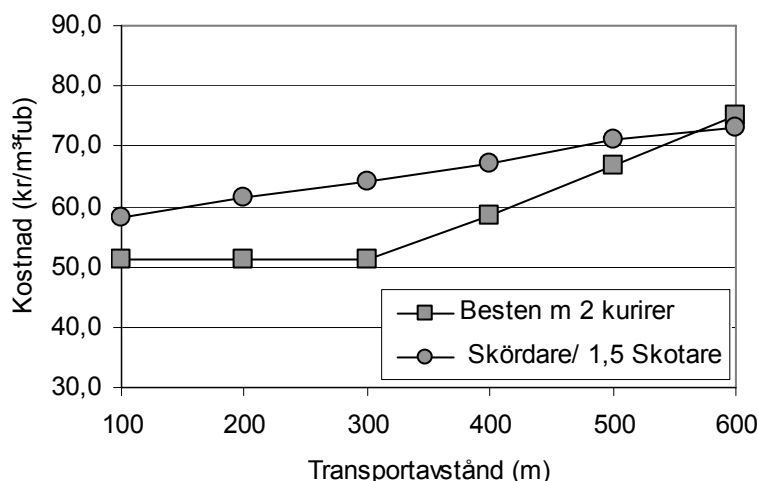
Figur 6.
Kostnad per m³fub för olika maskinsystem i ett kort tidsperspektiv. Medelstamvolym 0,94 m³fub.



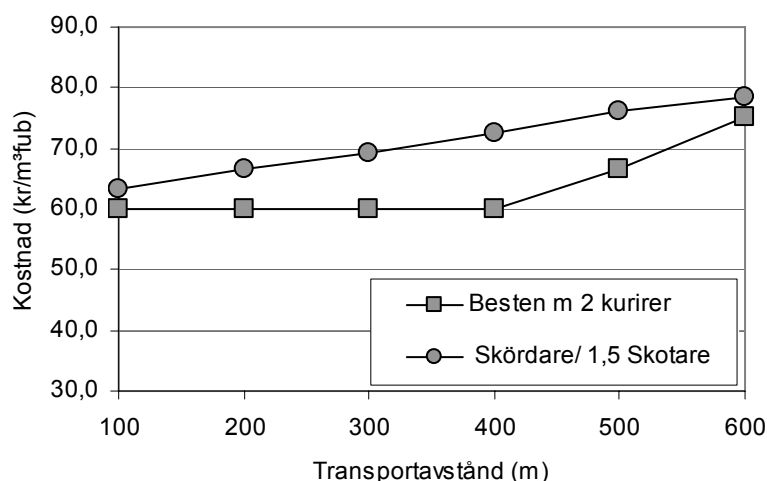
Figur 7.
Kostnad för olika maskinsystem i ett kort tidsperspektiv. Medelstamvolym 0,55 m³fub.

KOSTNAD PER ÅR

I ett längre tidsperspektiv, t.ex. på årsbasis, producerar inte skotaren ut tillräcklig volym till bilväg för att jämförelsen skall kunna göras mellan Bestensystemet och ett 1:1-förhållande mellan skördare och skotare. Om medeltransportavståndet är ca 300 m och om skördare och skotare utnyttjas lika många timmar per år, (för enkelhetens skull tas ingen hänsyn till olika TU på maskinerna) producerar skotaren ca 75 % av vad skördaren producerar vid motsvarande medelstamvolym. Det krävs alltså minst 1,5 skotare på en skördare för att det avverkade virket skall transporteras till bilväg. Detta innebär att Besten med två kurirer är konkurrenskraftigt mot Tvåmaskinsystemet ända upp till 600 m transportavstånd i de båda studiebestånden, figur 8 och 9. Vid den medelstamvolym som uppmättes i de båda studiebestånden och ett medeltransportavstånd på 300–400 m kan Bestensystemet sänka avverkningskostnaden med 12–13 kr, vilket motsvarar 15–20 %, figur 8 och 9.



Figur 8.
Kostnad per m³fub för olika maskinsystem i ett längre tidsperspektiv, Medelstamvolym 0,94 m³fub.



Figur 9.
Kostnad per m³fub för olika maskinsystem i ett längre tidsperspektiv, Medelstamvolym 0,55 m³fub.

Diskussion

Enligt studieresultaten och de kostnadsanalyser som genomförts är Besten med två virkeskurirer konkurrenskraftigt mot de Tvåmaskinsystem som används vid slutavverkning i dag, både vad gäller prestation och kostnad. Skillnaden är som störst till Bestens fördel, vid transportavståndet 300–400 m. Anledningen till att Besten med virkeskurir kan konkurrera prestationsmässigt med Tvåmaskinsystemet redan i dag är möjligheten till direktlastning. Metoden ger en liten förlust i effektivitet i avverkningen p.g.a. att Bestens position hela tiden måste anpassas efter kurirens lastutrymme, samt vid kurirbyte. Detta kompenseras dock av att momenten för att lägga virket på marken, kranarbete och lastning är helt bortrationaliserade. Vidare är Besten utrustad med en stor tank, vilket minimerar antalet tankningar per tidsenhet. Kostnadsmässigt påverkas systemet positivt av den låga bränsleförbrukningen, samt av att maskinerna förmodligen kan produceras till en relativt låg kostnad vid serietillverkning. Besten är helt rensad från onödiga detaljer samt komponenter för förarkomfort. Även kurirerna kan förenklas eftersom momentet lastning är bortrationaliserat. Dessutom ökar förmodligen avskrivningstiden på de ingående enheterna eftersom slitaget på maskinerna minskar i och med bortrationaliserade moment samt enkelheten i systemet.

Denna studie har bekräftat att en betydligt högre prestation kan erhållas när två eller flera kurirer används i systemet än om endast en kurir används (Eriksson, 2004). Dessutom är prestationen väsentligt högre än vad som uppskattades vid den tidiga systemanalys som gjordes vid Skogforsk (Hallonborg, 2003). Konkurrenskraften och flexibiliteten kan ökas ytterligare genom att använda olika många kurirer beroende på terrängtransportavståndet och storleken på avverkningen. Vid små avverkningar med mycket korta avstånd till väg räcker det med en kurir för att uppnå tillräckligt hög prestation för att motivera systemet. Vid normala transportavstånd upp till och med 600 m ger två kurirer den högsta prestationen och lägsta kostnaden. På stora objekt och vid extrema transportavstånd kan det vara lönsamt att sätta in ytterligare en kurir i systemet.

Detta är endast den andra versionen av systemet, vilket skall jämföras med ett skördar/skotarsystem som utvecklats och trimmats under en lång tid. Därför finns stora möjligheter att förbättra både teknik och metod och därigenom ytterligare öka prestation och minska kostnader.

I studien testades endast systemet i grov slutavverkning. Det finns dock egentligen inget som säger att Besten med virkeskurir inte kan konkurrera i all typ av slutavverkning. I klenare skog blir som tidigare nämnts systemet mindre känsligt för långa transportavstånd. För att öka prestationen i klenare bestånd kan Besten eventuellt utrustas med en längre kran och med ett klenare aggregat för att minska förflyttningarna i beståndet och därigenom sänka tillverkningskostnaden. Skall systemet kunna konkurrera med dagens slutavverkningssystem måste det sannolikt vara högpresterande i de allra flesta typer av slutavverkning.

Uppenbara fördelar med Bestensystemet i dag är:

- Stor potential att sänka avverkningskostnaderna.
- Fortsatt utvecklingspotential är stor till följd av att det endast är den andra prototypen som studerats.
- Bränsleförbrukningen är lägre än för konventionella Tvåmaskinsystem.
- Ledtiderna minimeras då allt virke ligger vid bilväg när avverkningen avslutas.
- Inget virke lämnas i skogen och riskerar inte heller att bli översnöat etc.
- Ergonomiska fördelar med arbetsväxling och tystare förarmiljö.
- Arbetsmiljöfördelar eftersom man alltid är två förare på samma avverkning, vilket innebär hjälp vid haverier och sällskap under raster.
- Den bandförsedda Besten har ett lågt marktryck och det finns stora möjligheter att reducera markskador etc. då Besten kan köras ut i besvärliga och känsliga områden och i värsta fall lunna ut virket till kuriren (förutsatt att en klämbank eller dylikt konstrueras på maskinen).

Nackdelar med systemet i dag kan vara att det är känsligt för mycket långa transportavstånd och många sortiment. Dessutom är systemet ”hett” där alla ingående enheter är beroende av att de andra enheterna håller samma tempo.

Detta innebär även att stillestånd på Besten innebär stillestånd på samtliga kurirer. Stillestånd på en kurir innebär lägre prestation och högre kostnader för systemet. Systemet är vidare mer komplicerat och ställer högre krav på föraren än att manövrera en av maskinerna i ett Tvåmaskinsystem. Framtida studier bör avse t.ex. inverkan av längre transportavstånd, inverkan av antal sortiment samt uppföljning av system i praktisk drift avseende produktion, bränsleförbrukning, reparationer och underhåll.

Slutsatser och frågeställningar

Besten med två virkeskurirer kan hålla en hög prestation i grov slutavverkning och relativt korta transportavstånd.

Två kurirer innebär uppmot dubbel prestation jämfört med om endast en kurir används beroende på att man vid korta transportavstånd undviker stillestånd i avverkningen.

Bränsleförbrukningen är låg i systemet främst beroende på att kranarbetet i lastningen är bortrationaliserad och att alla onödiga detaljer på Besten är bortplockade.

Systemet är trots att det är ett s.k. ”hett” system relativt flexibelt där man kan utnyttja olika antal kurirer beroende på hur avverkningarna ser ut och hur många som finns att tillgå.

Dessutom kan systemet utnyttjas på känsliga marker och vid besvärlig terräng där det finns möjlighet att utrusta Besten med en klämbank för utlunning av virke.

Det finns dock ett antal frågeställningar som endast kan besvaras vid användning i praktisk drift:

- Vad kan systemet prestera i klenare skog?
- Kan systemet klara det antal sortiment som krävs av industrin och fortfarande vara konkurrenskraftig mot Tvåmaskinsystemet?
- Är TU på Besten tillräckligt hög för att man skall kunna bortse från risken att flera kurirer blir stillastående vid haverier på Besten?
- Kan alla maskinförare lära sig systemet och uppnå tillräckligt hög prestation?
- Kan systemet tillverkas billigt vid serieproduktion?

Litteratur

- Brunberg, T., Eriksson, G., Granlund, P., Löfgren, B., Löfroth, C. & Nordén, B. 2000. Test av åtta mellanstora skotare – teknisk data och bränsleförbrukning. Resultat nr 20. Skogforsk, Uppsala.
- Hallonborg, U. 2003. Förarlösa skogsmaskiner kan bli lönsamma. Resultat nr 9. Skogforsk, Uppsala.
- Hallonborg, U. 2003. Semi-autonoma kortvirkessystem – en systemanalys. Redogörelse nr 5. Skogforsk, Uppsala.
- Eriksson, P. 2004. Pilotstudie av drivningssystemet Besten med kurir: Slutavverkning med förarlös skördare manövrerad från skotare. Rapport nr 14. SLU, Uppsala.
- Brunberg, T., Granlund, P. & Nordén, B. 2005. Standardiserad bränslemätning för skotare och skördare. Resultat nr 10. Skogforsk, Uppsala.

Momentindelning, Besten med två virkeskurirer

Förflyttning kurir:	Körning mellan uppställningsplatser. Momentet startar när hjulen börjar snurra och avslutas när hjulen stannat. Flyttas kuriren och Besten samtidigt registreras tiden på kuriren.
Förflyttning Besten:	Körning mellan uppställningsplatser. Momentet startar när hjulen börjar snurra och avslutas när hjulen stannat.
Kran ut:	Börjar när kranen börjar röra sig ut mot lämplig stam. Avslutas när aggregatet riktas mot stammen.
Positionering:	Börjar när aggregatet riktas mot stammen och avslutas när kapningen inleds.
Fällning:	Börjar när kapningen av stammen inleds och avslutas när den är helt avskiljd från stubben.
Intagning:	Börjar när stammen är avskiljd från stubben och avslutas när matarrullarna börjar snurra för upparbetning.
Kvistning/kapning:	Startar när matarrullarna börjar snurra för upparbetning och avslutas när toppen släpps. I samband med momentet registrerades även brösthöjdsdiameter.
Topp:	Tid mellan att sista massavedsbiten kapats och toppen släppts. Tid för risning av stickväg registreras här.
Lasspositionering:	Justering av lassets position, den tid som går åt till att anpassa lassets mot aggregat och avverkad stam.
Justering:	Tid som registreras då föraren flyttar eller rättar till bitar som hamnat fel på lasset.
Kurirskifte (Start och Parkering)	Tid som registreras när skifte av kurirer sker.
Lasskörning:	Tid som registreras när maskinen är i rörelse med fullt lass.
Tomkörning:	Tid som registreras när maskinen är i rörelse utan lass.
Lossning:	Börjar när gripen ligger stilla över traven och slutar när bitarna ligger lossade på traven.
Flytt på avlägg	Tid som registreras när kuriren förflyttas mellan travarna på avlägget.
Övrig verktid:	Tid som ingår i arbetet, men som inte kan hänföras till något av ovanstående moment.
Strul:	Tid som ej ingår i avverkningsarbetet.
Störning:	Tid som ej ingår i avverkningsarbetet.

Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2005

2005

- Nr 586 Hallonborg, U., Nordén, B. & Lundström, H. 2005. Ponsse Dual Buffalo i slutavverkning. 12 s.
- Nr 587 Löfroth, C., Ekstrand, M & Rådström, L. 2005. Konsekvenser för skogsnäringen av Skatt på väg (SOU 2004:63). 44 s.
- Nr 588 Bergkvist, I. & Nordén, B. Geometrisk röjning i stråk 2005. Maskinstudier av tre maskinkoncept i stråkröjning 15 s.
- Nr 589 Sikström, U. & Pettersson, f. 2005. Föryngring av gran under högskärm – avgångar i skärmen, plantförekomst och planttillväxt. 105 s.
- Nr 590 Wilhelmsson, L. 2005. Characterisation of stem, wood and fiber properties – industrial relevance. 29 s.
- Nr 591 Moberg, L., Hannrup, B. & Norell, L. 2005. Models of stem taper and cross-sectional eccentricity for Norway spruce and Scots pine. 12 s.
- Nr 592 Sonesson, J., Almqvist, C., Ericsson, T., Karlsson, B., Persson, T., Stener, L.-G. & Westin, Johan. 2005. Lägesrapport. 22 s.
- Nr 593 Erikssohn, P. & Oscarsson, M. 2005. Automatisk sortering med engreppsskördare vid slutavverkning. 92 s.
- Nr 594 Egermark, T. 2005. Kranpetsstyrning – En jämförande utvärdering av kranstyrning för skogsmaskiner utförd i simulator. 85 s.
- Nr 595 Ekstrand, M., Löfroth, C. & Andersson G. 2005. Fördjupad analys av utredningen om konsekvenser för skogsnäringen av Skatt på väg (SOU 2004:63). 47 s.
- Nr 596 Ekstrand, M. & Skutin, S.-G. 2005. Processkartläggning av transportledning och transporter – Fallstudie hos Stora Enso, Skogsåarna, VSV och Sydved. 54 s.
- Nr 597 von Hofsten, H., Lundström, H., Nordén, B. & Thor M. 2005. System för uttag av skogsbränsle – analyser av sju slutavverkningssystem och fyra gallringssystem. 34 s.
- Nr 598 Bergkvist, Isabelle. 2005. Upparbetning av stormskadad skog – Beskrivning och analys av de dominerande maskinsystemen. 15 s.
- Nr 599 Löfgren, B. 2005. Head-up-display i engreppsskördare. 70 s.
- Nr 600 Ekstrand, M. 2005. Inställning av vägvalskomponent i TVE. 40 s.
- Nr 601 Granlund, P. & Thor M. 2005. Vibrationsmätningar på drivare och skotare. 9 s.
- Nr 602 Jonsson, M. 2005. Kartläggning av dubbskador. 29 s.
- Nr 603 Almqvist C., Stener, L.G. & Karlsson, L. 2005. Skogsträdförädlingens databas Fritid – Definitioner, tabellstruktur och manualer. 54 s
- Nr 604 Sondell J. Märkning av timmer för automatisk avläsning vid sågen. 6 s.
- Nr 605 Rosenberg, O. & Högbom L. 2005. Retention av bor efter gödning med Skog-CAN innehållande olika borformuleringar. 12 s.
- Nr 606 Nordén, B., Lundström, H. & Thor M. 2005. Kombimaskin jämfört med tvåmaskinsystem. Tidsstudier av Ponsse Dual, Ponsse Beaver och Ponsse Buffalo hos SCA Skog AB. 10 s.
- Nr 607 Granlund, P., Eliasson, T. & Alzubaidi, H. 2005. CTI – Studieresa den 7 september 2005. 15 s.
- Nr 608 Hofsten, von H. & Sondell J. 2005. Kalibrering av apteringssystem i skördare. 16 s.

2006

- Nr 609 Karlsson, B. & Lönnstedt, L. 2006. Strategiska skogsbruksval – Analys av två alternativ till trakthyggesbruk med gran. 141 s.
- Nr 610 Nordlund, S. Planteringsförsök. – Jämförelse av olika planttyper med avseende på tillväxt och stabilitet efter nio vegetationsperioder. (under arbete)
- Nr 611 Nordlund, S. 2005. Planteringsförsök – En studie av fyra planttyper i olika storlekar med avseende på överlevnad och tillväxt efter sex vegetationsperioder. (under arbete)

- Nr 612 Skutin, S.-G. 2006. Intervjurunda – Virkesstyrningssystem (under arbete)
- Nr 613 Jonsson, M. 2006. Spårdjupsmätning efter Valmet 890 med boggieband – Magnum och Ecotrack HS. 8 s.
- Nr 614 Sonesson, J., Almqvist, C., Andersson, B., Berlin, M., Ericsson, T., Högberg, K.-A., Jansson, G., Karlsson, B., Persson, T., Rosvall, O., Stener L.-G. & Westin, J. 2006. Lägesrapport 2005-12-31 för förädlingspopulationer av tall, gran, björk och contortatall. 20 s.
- Nr 615 Ekstrand, M. 2006. CARABAS – Individual trees. 19 s.
- Nr 616 Bergkvist, I., Nordén, B. & Lundström H. 2006. Besten med två virkeskurirer – studier av prestation och bränsleförbrukning. 17 s.