



# Kandidatarbeten i skogsvetenskap

Fakulteten för skogsvetenskap

2013:2

Nytt maskinkoncept för framtida biomassaskörd i konfliktbestånd  
- En systemanalys

*New machine concept for future biomass harvest in conflict stands  
– A system analysis*



[www.fixteri.fi](http://www.fixteri.fi)

Alexander Andersson och Joel Widman

---

Sveriges Lantbruksuniversitet

Program: Jägmästarprogrammet

Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Kandidatarbete i skogsvetenskap, 15 hp, Kurs: EX0592 Nivå: G2E

Handledare: Dan Bergström, SLU, Inst. för Skogliga biomaterial och teknologi

Examinator: Tommy Mörling, SLU, Inst. för skogens ekologi och skötsel

Umeå 2013

Enhet/Unit	Institutionen för skogens ekologi och skötsel Department of Forest Ecology and Management
Författare/Author	Alexander Andersson och Joel Widman
Titel, Sv	Nytt maskinkoncept för framtida biomassaskörd i konfliktbestånd - en systemanalys
Titel, Eng	New machine concept for future biomass harvest in conflict stands- a system analysis
Nyckelord/ Keywords	<i>Buntskördare, konfliktbestånd, biomassaskörd, bunskotning/ Bunch harvester, conflict stands, biomass harvest</i>
Handledare/Supervisor	<i>Dan Bergström, Institutionen för Skogliga biomaterial och teknologi</i>
Examinator/Examiner	Tommy Mörling Institutionen för skogens ekologi och skötsel/ Department of Forest Ecology and Management
Kurstitel/Course	Kandidatarbete i skogsvetenskap Bachelor Degree in Forest Science
Kurskod	EX0592
Program	Jägmästarprogrammet
Omfattning på arbetet/	15 hp
Nivå och fördjupning på arbetet	G2E
Utgivningsort	Umeå
Utgivningsår	2013

# FÖRORD

Vi vill först och främst tacka vår handledare Dan Bergström för allt stöd och hjälp under arbetet. Vi vill också tacka Dag Fjeld för utlåning av Arena 5.0.  
Stort tack till innovatören Lennart Olofsson och konstruktören Erik Lindberg.

Umeå april 2013

Alexander Andersson och Joel Widman

## SAMMANFATTNING

Behovet av skogsbränslen har ökat i takt med en ökad efterfrågan av förnyelsebara energikällor, samtidigt som andelen skogar med ett omedelbart röjningsbehov stigit. Det har lett till att innovatörer letar efter nya system för skörd av biomassa i dessa bestånd.

Syftet med denna studie var att modellera och analysera ett maskinsystem som är under utveckling för skörd av biomassa i klena förstagallringar. Maskinsystemet ska fälla, aptera och bunta träddelar i bestånden.

Skördaren som utgör basen för konceptmaskinen är den fyrhjuliga modellen av Komatsu 901TX.1. På basenheten kommer det att monteras en helautomatiserad extrakran/leveranskran. Leveranskranen står för transporten av det skördade virket från skördaraggregatet till en helautomatiserad buntningsenhet.

Resultatet som redovisas i rapporten har tagits fram genom simuleringar i simuleringsprogrammet Arena 5.0. I analyserna användes bestånds- och prestationsdata från befintliga bestånd. Kostnadsberäkningar av maskinsystemet samt drivning har genomförts.

Buntskördarens produktivitet var i genomsnitt 3,58 ton TS per G<sub>0</sub>-timme. Med ett maximum av 4,77 ton TS per G<sub>0</sub>-timme och ett minimum på 3,18 ton TS per G<sub>0</sub>-timme. Om leveranskranens effektivitet sjönk med tjugo procent minskade buntskördarens produktivitet med 0,44 ton TS till 3,14 ton TS per G<sub>0</sub>-timme. Det vill säga med 12 procent. Då leveranskranen hade en hastighet på 25 sekunder per krancykel var priset per skördat ton TS 214 kronor vid ett maskinpris på 3 600 000 kronor respektive 221 kronor vid ett maskinpris på 4 000 000 kronor. Priset per skördat ton TS steg till 244 kronor respektive 252 kronor vid samma maskinpris men då leveranskranen krancykel tog 30 sekunder.

Studien visar att produktiviteten påverkas framförallt av leveranskranens hastighet och väntetiden mellan skördarkranen och denna

Nyckelord: Buntskördare, konfliktbestånd, biomassaskörd, buntskotning.

## ABSTRACT

The need of forest fuels has increased in line with an increased demand for renewable energy sources, simultaneously as the proportion of forest with an immediate clearing need has increased. These stands are commonly biomass dense. This has led to the point where innovators now are looking for new, more cost-effective, systems for biomass harvest in these stands.

The purpose of this study was to model and analyze a new machine system, currently under development, for biomass harvest in dense early thinning's. The machine system will fell trees and then cut-to-length and bundle them. The system was simulated and analyzed of its productivity and costs by using the simulation software Arena 5.0. The study layout included information retrieved from real stands and harvester performance in these. Calculations regarding the forwarding cost and total drive costs are also displayed.

The harvester used as the base (prime mover) of the machine system is the four wheeled Komatsu 901TX.1. On the base unit an extra delivering crane will be mounted. The delivering crane will be fully automatic and deliver the harvested trees to a fully automatic bundling unit.

The machine system productivity reach on average 3, 59 ovens dry ton (Odt) per G<sub>0</sub>-hour. With a maximum of 4, 77 Odt per G<sub>0</sub>-timme and a minimum of 3,18 Odt per G<sub>0</sub>-timme. If the efficiency on the delivery crane dropped by twenty percent, the productivity of the concept machine will be reduced by 0, 44 Odt to 3, 14 Odt per G<sub>0</sub>-hour, which equals to 12 percent. When the speed of the delivery crane was 25 seconds per crane cycle the price per Odt reach 214 SEK at a machine price of 3 600 000 SEK and reach 221 SEK with a machine price of 4 000 000 SEK . The price per Odt increased to 244 SEK, and 252 SEK at the same machine price, but the delivery crane was slower and took 30 seconds per crane cycle.

The study indicates that the speed of the delivery crane affects the productivity and the waiting time between the harvester crane and the delivery crane.

Keywords: Bunch harvester, conflict stands, biomass harvest.

# 1. INLEDNING

## 1.1 Bakgrund

Behovet av skogsbränslen har ökat i takt med en ökad efterfrågan av förnyelsebara energikällor. Skogsindustrins biprodukter är emellertid en redan exploaterad resurs varpå man fått vända sig efter andra lösningar. Sedan den nya skogsvårdslagen infördes 1994, i vilken röjningsplikten avskaffades, har andelen oröjda ungskogar ökat och med den andelen konfliktbestånd. Enligt Skogsstyrelsen (2012) har andelen skogar med omedelbart röjningsbehov ökat från drygt 1 000 000 ha år 2000, till drygt 1 500 000 ha år 2010. I dessa bestånd finns en hög inneboende potential som källa för biomassauttag. Då dagens konventionella mekaniserade avverkningssystem inte är primärt anpassade för biomassaskörd letar innovatörer och maskintillverkare istället efter nya lösningar med högre kostnadseffektivitet.

I dagsläget pågår ett utvecklingsprojekt som syftar till att ta fram en maskin som integrerat fäller och buntar biomassan direkt i beståndet (bunt-skördare). Innovatören heter Lennart Olofsson och är en relativt stor privat skogsägare och industrialist som ser en stor möjlighet i biomassaskörd ur konfliktbestånd (Olofsson pers. komm.2012). Av denna anledning ser han en stor potential i utvecklandet av ett nytt system för högre produktivitet och effektivitet i dessa bestånd. Detta innovativa maskinsystem består översiktligt av tre enheter; en kran som fäller, en kran som apterar och förflyttar det fällda materialet till buntningsenheten, samt en buntningsenhet. Mellan dessa tre enheter uppstår väntetider. Då maskinen är ett koncept under utveckling (existerar endast på ritbordet) har inga fältstudier av just detta maskinsystem genomförts, men Skogforsk har utfört en första simulering på konceptet (Bergkvist et al 2012). Denna analys var dock mycket förenklad, där man inte tog hänsyn till påverkande faktorer som till exempel beståndstyp, effektivitet på ingående delar med mera. Sådana faktorer är av största vikt att inkludera i en analys för att kunna fastställa maskinkonceptets potential.

Kostnaden för buntskördaren kommer att ligga på mellan 3,6 000 000 kronor och 4 000 000 kronor enligt Lindberg (pers. komm. 2013). Vilket kan jämföras med en kostnad på ungefär 3,5 miljoner kronor för en konventionell skördare, Eco Log 560D (Burström & Johansson. 2012).

## Biobränsle potential i Sveriges ungskogar

Potentialen att skörda biobränsle i Sveriges ungskogar är god då det finns 2,77 miljoner ha ungskogar som har en medelhöjd under 12 meter och har ett biomassainnehåll på mer än 30 ton torrsubstans (TS) per hektar. 30 ton TS motsvarar lika mycket som 60 m<sup>3</sup>f, (kubikmeter fast mått) per ha. Denna areal utgör 12,3 procent av Sveriges sammanlagda skogsareal. Den totala mängd stående biomassa i dessa bestånd är 149 miljoner ton TS. Vilket ungefär motsvarar 300 miljoner m<sup>3</sup>f biomassa (Nordfjell et al. 2011). Det finns en årlig potential i Sverige att skörda mellan 2-2,5 miljoner ton TS. Detta i bestånd som håller ett biomassaförråd på mer än 30 ton TS/ha och är under 12 meter (Nordfjell et al.2011).

## Dagens system för skörd av biomassa

Dagens mest använda system för skörd av biomassa bygger på två-maskinsystemet skördare – skotare där skördaren fäller skördestammarna och skotaren sköter terrängtransporten av de stammar som avverkats och lämnats i beståndet. Skördaren kan vara utrustad med ett aggregat anpassad för flerträdshantering, vilket innebär att skördaraggregatet kan ackumulera en eller flera stammar i aggregatet samtidigt som avverkningsarbetet fortgår. Skotaren kan vara utrustad med lastgrip anpassad för hantering av ris, GROT och lösa träddeklar samt ombyggt lastutrymme för att kunna hantera biomassan bättre. Skotaren transporterar biomassan till ett avlägg där den läggs på lager i vältor. Vältorna täcks sedan över med papp för att sedan lämnas att torka i ett antal månader. Därefter flisas vältorna, antingen vid avlägget där flisen transporteras till industri i containrar eller så transporteras skogsbränslet intakt till terminal där det sönderdelas. (Skogsstyrelsen 2001).

Bland tillverkarna till de system som idag finns tillgängligt för mekaniserad skörd och buntning av biomassa i ungskog finns det finska företaget Fixteri. Företaget tillverkar en buntningsmaskin anpassad för buntning av klena avverkningsstammar i beståndet. Buntningsmaskinen har möjligheten att monteras på basenheten hos en drivare, exempelvis Valmet 801 (Jylhä & Laitila 2007) men är även enligt tillverkaren kompatibel med andra basenheter (Fixteri 2013). Produktiviteten hos Fixterienheten monterad på en Valmet 801 vid arbete i ett blandbestånd där de avverkade stammarnas medelvolym var 0,04m<sup>3</sup> uppgick till 2,6m<sup>3</sup> per G<sub>0</sub>-timme. Vilket enligt hemsidan Wood Energy Calculations motsvarar 1,092 ton TS per G<sub>0</sub>-timme. (Larsson och Nylinder 2013) Vid arbete i talldominerade bestånd med en medelstam på 0,034m<sup>3</sup> uppgick produktiviteten till 3,7m<sup>3</sup> per G<sub>0</sub>-timme. (Jylhä & Laitila 2007). Motsvarande 1,554 ton TS per G<sub>0</sub>-timme, (Larsson och Nylinder 2013)

## Tidigare studier av produktivitet vid biomassaskörd

Buntskördaren kommer att utrustas med ett flerträdsaggregat av märket Bracke C16b. Aggregatet är utvecklat för att kunna röja ett bestånd samtidigt som man ska kunna ta ut biomassa (Iwarsson Wide 2009). Bracke C16 kan uppnå en produktivitet på 4 ton TS (torrsubstans) eller 459 träd vid skörd i ett 30 årigt tallbestånd med ståndortsindex T18 (Bergström et al. 2010a). En studie som utfördes av Iwarsson Wide (2009) visar att produktiviteten i ett barrblandbestånd i Gnosjö, Småland var 5,95 ton TS per G<sub>0</sub>-timme och 6,11 ton TS per G<sub>0</sub>-timme i ett talldominerat bestånd i Hillerstorp Småland. G<sub>0</sub>-timme är per definition en timme av effektivt arbete utan avbrott. Studien visar även att i barrblandbeståndet tog en krancykel 32,4 sekunder respektive 21,6 sekunder i Hillerstorp och antalet avverkade träd per krancykel var 1,73 i Gnosjö och 1,93 i Hillerstorp. Kostnaden för varje avverkat ton TS i Gnosjö respektive Hillerstorp var 164 kr och 168 kr. Momentet tillredning och kapning saknas i studien, prestationen avser endast fällning och sammanföring. Därtill belyses endast avverkning, skotning och flisning är inte inkluderat. Studien av Iwarsson Wide (2009) kan jämföras med studier utförda på skogsbränsleuttag med en 14 tons beståndsgående skördare. Vid studien uppnådde skördaren en produktivitet på 1,15 ton TS per G<sub>0</sub>-timme vid ett uttag på ca 4700 stammar per hektar vilket motsvarar 12,7 ton TS/ha. (Kärha et al 2005).

## **Fördel med buntad biomassa**

När man buntar biomassan innebär det att den kompakteras. Detta leder till att transport av biomassa kan ske med samma transportsystem som i huvudsak används vid transport av rundvirke till industri. Buntarna sönderdelas sedan vid industrin. Att kunna använda samma logistiksystem för att transportera biomassa som att transportera rundvirke ger en enklare logistikkedja, samtidigt som det är möjligt att uppnå högre lastvikter då lösgröt och lösa träddelar inte kan packas lika effektivt som buntar. Buntar har dessutom bra lagringsegenskaper och torkar väl om de hanteras på rätt sätt (Eliasson 2010).

### **1.2 Hypotes**

Då maskinen som skall analyseras i rapporten inte existerar mer än på ritbordet är det svårt att säkert veta hur lång tid de olika produktionsmomenten kommer ta. Eftersom buntskördarkonceptet är uppbyggt av tre separata delar, skördarenheten, leveransenheten och bunningsenheten är det sannolikt att det kommer uppstå väntetider mellan dessa. Vår hypotes är att storleken på dessa väntetider kommer att vara avgörande för bunt-skördarens teoretiska produktivitet och kostnad per skördat ton TS.

### **1.3 Syfte och mål**

Syftet med studien är att modellera ett nytt konceptuellt maskinsystem, specialiserat på biomassaskörd. Dessutom simulera produktiviteten och beräkna dess kostnader där faktorer som beståndstyp, momenttider samt maskinkostnader varierar.

Efterföljande skotningsarbete kommer även beräknas så att systemets produktivitet och kostnader fram till bilväg skattas. Målet är att resultaten kan utgöra ett underlag för fortsatt utveckling av maskinsystemet i ”rätt riktning”.

Följande frågeställningar skall besvaras:

- Vad kommer Buntskördaren att ha för produktivitet?
- Vart i systemet kommer väntetider att uppstå?
- Vad kommer kostnaden per ton TS att vara för Buntskördaren inklusive skotning jämfört med en konventionell skördare inklusive skotning?



## 2. MATERIAL & METODER

### 2.1 Försöksdesign

Studien utfördes i följande 5 steg.

1. Datamaterial på Buntskördarens olika delar samt från de bestånd som analysen är uppbyggd kring insamlades. Framst från litteratur i ämnet och från innovatören. Data om basmaskinen, skördaraggregatet, bunningsenheten samt leveranskranen antogs med avseende på funktion och produktion.
2. Materialet gällande Buntskördaren och beståndet analyserades, beräknades, strukturerades och definierades för att kunna passa till simuleringen.
3. En modell av buntskördaren konstruerades i simuleringsverktyget Arena 5.0. Modellens olika delar och arbetsprocesser definierades och anpassades.
4. Simuleringar utfördes för bestånden, dessa återspeglar olika produktivitet på fällningsarbetet. I simuleringarna varierades krancykeltider på fällningsarbetet och leveranskranens hastighet. Två stycken maskinkonfigurationer per bestånd simulerades.
5. Utifrån simuleringarna beräknades buntskördarens produktivitet och dess kostnader. Därefter beräknades systemets kostnader, det vill säga inklusive skotning till bilväg.

### 2.2 Indata

#### Beståndsdata

I analysen användes åtta talldominerade bestånd baserat på fältstudier, (Bergström et al. 2010b) (Tabell 1). Beståndens grundtevägda medeldiameter i brösthöjd var i medeltal 9,62 cm och grundtevägda medelhöjd var 8,61 meter. Stamtätheten var i genomsnitt 8300 stammar per hektar och den genomsnittliga volymen var 103,47 m<sup>3</sup>sk per hektar i de åtta bestånden. Fukthalten på biomassan har i rapporten ansatts till 50 procent.

#### Data från Innovatör – definition av maskinsystemet

Buntskördaren kommer att byggas på konventionell skördare (Fig. 1). Skördaren som utgör basen för konceptmaskinen är den fyrhjuliga modellen av Komatsu 901TX.1. Vikten för basmaskinen är 16 200 kg, (Komatsu Forest 2013). Basenheten kommer arbeta med fällning i beståndet och kommer skötas manuellt av skördarföraren. Skördaraggregatet på konceptmaskinen kommer vara Bracke C16b (Fig. 1a). Detta aggregat är anpassat för avverkning av biomassa och skörd av hela träd. Fällningen genomförs med hjälp av en kedjeförsedd klinga med en maximal kapdiameter på 260 mm i diameter. Bracke C16b är även anpassat för flerträdshantering. Aggregatets vikt uppgår till 570Kg (Bracke Forest 2013).

## Leveranskran

På basenheten kommer det att monteras en helautomatiserad extrakran (Figur 1b).

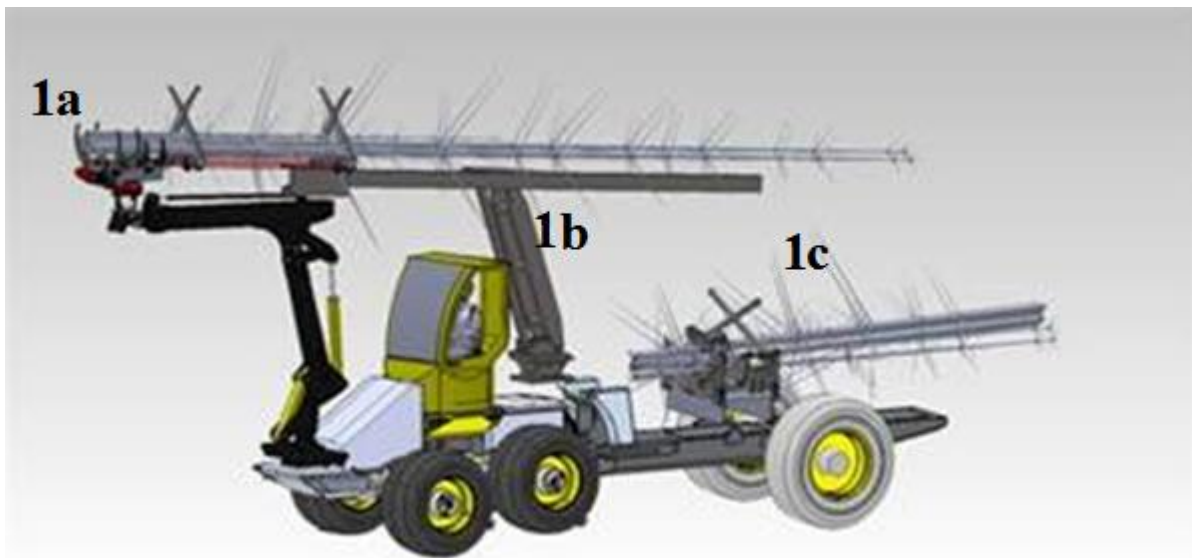
Arbetsgången för kranen är att föra trädelsknippen från skördarkranen och leverera dessa till buntningsenheten i rätt längder. Leveranskranen ska kapa träden i varje krancykel med en klipp placerad fem meter från rotdelen. Föraren har möjlighet att bestämma om toppdelarna ska levereras till buntningsenheten eller inte. Vid trädelar som är över fem meter kommer toppen att sticka ut ur bunten. (pers. komm. Lindberg E 2013).

Efter information av innovatören Lennart Olofsson så kommer leveranskranen att tillverkas av Cranab i Vindeln. Kranen är ett nytt koncept som utvecklas genom ett samarbete mellan Forest innovations och Cranab.

## Buntningsenhet

Buntningsenheten i simuleringen kommer att vara helautomatiserad (Figur 1c). Denna kommer att ha ett separat lastutrymme för att kunna ackumulera biomassa från leveranskranen, samtidigt som buntaren arbetar med att göra en trädelsbunt. När bunten är färdig tippas den av, ned på stickvägen för att kunna plockas upp av en skotare. När detta är gjort startar processen om igen (Lindberg. pers. komm. 2013).

Modellen för buntaren som ska användas till maskinkonceptet är inte fastställd. Innovatören avser att utveckla en egen typ av buntningsenhet.



**Figur 1.** Buntskördarens eventuella utseende. 1a, anger skördaraggregatet, 1b, anger leveranskranen och 1c anger buntningsenheten.

*Figure 1. Sketch of the bundler harvester.-*

## **Påverkande faktorer**

Då buntskördarkonceptet är uppbyggt kring interaktionen mellan olika produktionsmoment påverkas också den slutliga produktiviteten av dessa. Skördaraggregatets produktivitet beror på beståndets beskaffenhet. Hur många stammar aggregatet kan skörda per krancykel samt hur många kg TS som varje stam innehåller är bestånds faktorer som påverkar buntskördarens produktivitet.

För leveranskranen ansattes en konstant tid per krancykel för att ta emot och aptera biomassan samt leverera den till buntaren. Leveranskranens produktivitet är beroende av hur snabbt skördaraggregatet kan leverera virke till denna. Detta till den grad där det istället är leveranskranens egen hastighet som begränsar dess produktivitet. Även en potentiell väntetid till buntaren utgör en produktionspåverkande faktor.

För buntaren ansattes en konstant tid för att motsvara tidsåtgången vid bunningsprocessen. Antalet krancykler som krävs för buntaren ska kunna producera en bunt beror på beståndets karaktär. I bestånd med grövre medelstam kommer det krävas färre krancykler för att samla ihop tillräcklig mängd biomassa för att skapa en bunt än i ett bestånd med klenare medelstam.

## **Prestationsdata**

Efter en studie av Bergström et al (2010b) har krancykeltider ur studien tagits för respektive bestånd i analysen. Variationen i antalet skördade stammar per krancykel varierade mellan 2,5 och 5,8 beroende på bestånd med en variation i biomassa mellan 25,1 kg TS och 50,3 kg TS per krancykel.

Leveranskranen hade en fast tid per krancykel för att ta biomassa från aggregatet aptera det och lämna det till buntaren (Lindberg pers. komm. 2013). Ett antagande är att leveranskranen kan hantera lika stor mängd i varje krancykel som aggregatet kan leverera per krancykel. Det innebär att leveranskranen kommer att leverera i genomsnitt 31,9 kg TS per krancykel till buntaren, se tabell 1.

Buntaren kommer att kräva en fast tid att göra en bunt och varje bunt kommer att ha en vikt på 636 kg och en längd på 5 meter. (Lindberg .pers. komm. 2013).

**Tabell 1.** Beskrivning av bestånden och prestationsdata på fällningsarbetet vid gallring med Bracke C16b av dessa bestånd. Data baseras på Bergström et al (2010b). Data ges som medelvärden. Dgv= grundtyevägd diameter, Hgv= grundtyevägd höjd

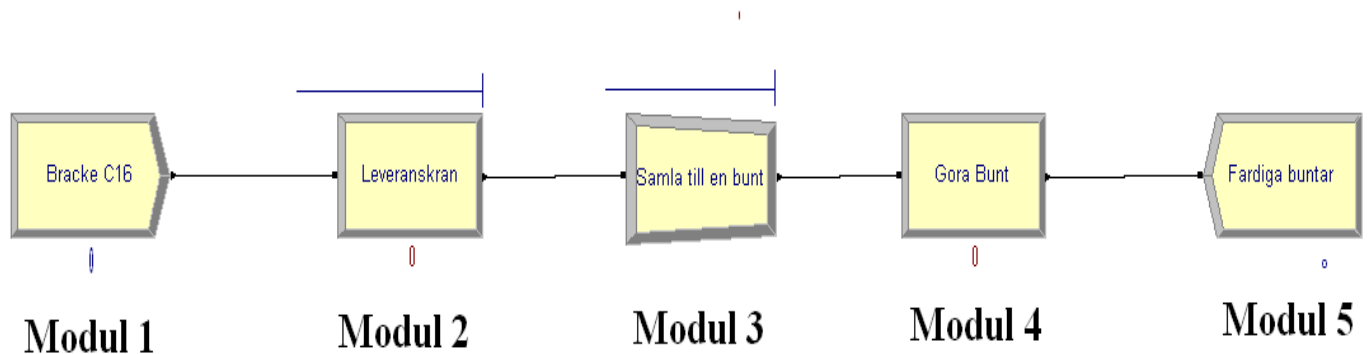
*Table 1. Stand description and harvester performance data in pre commercial thinning with Bracke C16b. Data based on Bergström et al. (2010b). Data displayed as mean values. Dgv= basal area weighted diameter, Hgv=basal area weighted height*

Variabler	Bestånd								Medel
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Tid per krancykel (s)	29,6	25,9	26,8	22,8	24,5	27,0	22,6	28,1	25,9
Standaravvikelse	11,5	9,3	9,9	8,7	9,9	9,8	10,8	10,8	10,1
Skördade stammar per krancykel	4,3	3,7	3,7	2,5	2,9	3,3	3,3	5,8	3,7
Biomassa per krancykel (kg TS)	27,7	28,6	29,1	34,1	27,9	32,6	25,1	50,3	31,9
Träd per hektar	8250	10700	4800	4600	6300	5850	7250	18650	8300
Dgv (cm)	8,3	10,3	10,7	12,2	9,9	8,8	7,8	8,9	9,6
Hgv (m)	7,7	8,7	10,7	9,4	8,6	8,0	7,8	8,0	8,6
Biomassa per träd (kg TS)	6,4	7,8	7,9	13,5	9,5	9,8	7,6	8,6	8,9
Biomassa per hektar (ton TS)	55,9	74,5	58,4	77,1	67,6	54,9	39,8	72,5	62,6

## 2.2 Indata för simulering

### Skördarenheten

Modellen som användes i simuleringen är uppbyggd av fem olika moduler, se figur 2. Modul 1, *Bracke C16*, utgjorde skördarenheten. I modulen antogs alla krancykler vara fördelade enligt en normalfördelningskurva med ett på förhand beräknat medelvärde samt standardavvikelse, se tabell 3.



**Figur 2.** Simuleringsmodellens utseende i Arena 5.0  
*Figure 2.* The simulation model appearance in Arena 5.0

### Leveranskranen

Modul 2, *leveranskran*, motsvarar leveranskranen (figur 2). Modulen ansattes ett konstant värde. Den totala arbetstiden varierades mellan 25 och 30 sekunder för att motsvara en produktionsminskning om 20 procent hos leveranskranen. Definition av leveranskranens delmoment redovisas i tabell 2.

**Tabell 2.** Definiering av leveranskranens arbetsmoment samt momenttid  
**Table 2.** Definition of the delivery crane's working elements, including element time

Delmoment	Beskrivning	Momenttid (sekunder)
Kranrörelse utan last	Leveranskranens rörelse utan last för att komma i läge att ta emot träddelar	5
Grip	Gripen greppar respektive släpper taget om trädelsknippet	5
Gripjustering	Gripens lägesjustering i förhållande till trädelsknippet	2*
Matning	Trädellarna förs via stegmatning mot klippen	2
Klipp	Aptering av trädelsknippet till önskad längd	5
Omvridding av kran (med last)	Kranens rotation med last för leverans av träddelar till buntningsenheten	4
Omvridding av kran (utan last)	Kranens rotation utan last efter att ha levererat träddelar	4
<i>Summa tid</i>		25

\*Moment Gripjustering sker parallellt med kranrörelse utan last

## Buntningsenheten

De tre sista modulerna motsvarar buntningsenheten (Modul 3-5; Figur 2). Modul 3, *samla till en bunt*, motsvarar buntarens lastningsutrymme där ett på förhand angivet krancykler med biomassa lämnades. När rätt mängd uppnåtts fortsätter den producerade enheten till Modul 4, *Göra bunt*. Denna modul fungerar i modellen som den tid det tar för buntaren att komprimera och ”paketera” biomassan. Denna modul angavs ett konstant värde på 120 sekunder, (Lindberg pers. komm 2013). Modul 5, *Färdiga buntar*, är det steg där den färdiga produkten lämnar buntningsenheten och stjälpas av i beståndet.

**Tabell 3.** Uppbyggnad av datasetet som användes i simuleringarna.**Table 3.** Organization of the data set used in the simulations

Simulerings ID	5/13	21/29	37/45	53/61	69/77	85/93	101/109	117/125
Bestånd	1	2	3	4	5	6	7	8
Krancykeltid - skördarkran	29,630	25,977	26,812	22,833	24,476	27,045	22,619	28,108
Standard-avvikelse (sekunder)	11,474	9,303	9,922	8,744	9,968	9,766	10,804	10,841
Krancykeltid – Leveranskran (sekunder)	25/30	25/30	25/30	25/30	25/30	25/30	25/30	25/30
Råvikt per bunt (kg)	636,17	636,17	636,17	636,17	636,17	636,17	636,17	636,17
Rådensitet per bunt (kg/m <sup>3</sup> )	450	450	450	450	450	450	450	450
Volym per bunt (m <sup>3</sup> )	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41
Tid för kompression av bunt (sekunder)	120	120	120	120	120	120	120	120
Antal krancykler per bunt	11	11	11	9	11	11	11	9
Antal repetitioner per körning	10	10	10	10	10	10	10	10

## Skotningskalkyl

För att kunna genomföra en kalkyl över potentiella kostnadsskillnader mellan buntskotning och skotning av lösa träddelar upprättades en kostnadskalkyl där timkostnaden per maskinsystem beräknades. Antaganden för denna kalkyl baseras på värden ur Burström & Johansson (2012), (Tabell 4). Kalkylen baseras på formelsamlingen (se bilaga 1) över maskinkostnadskalkylering vid drivning, (Nordfjell 2012).

**Tabell 4.** Kostnadsuppskattning för maskinsystem använda i analysen  
**Table 4.** Cost assumptions for machine systems used in the analysis

Kostnader	Eco log 560D*	Buntskördare	Buntskördare	Eco log 574C*
Investeringsbelopp (kr)	3500000	3600000	4000000	2500000
Restvärde (%)	20	20	20	20
Kalkylränta (%)	3	3	3	3
Ekonomisk livslängd (År)	6	6	6	7
Fast underhållskostnad (kr/år)	150000	187500	187500	110000
Drivmedel (kr/timme)	136	136	136	117
Förelön (kr/timme)	300	300	300	300
Systemtid (Timmar/år)	2500	2500	2500	2500
Rörlig underhållskostnad (kr/timme)	35	35	35	30
Timkostnad (kr/G <sub>0</sub> -timme)	746,1	767,3	791,9	625,4

\*Värden gällande Eco log 560D samt Ecolog 574C har hämtats ur Burström & Johansson (2012).

## Skotningsarbete

Vid skotningsarbetet för både lösa träddeklar samt buntar antogs att bestånden i fråga var rektangulära med en kortsida på 20 meter och en längd på 500 meter. Vid bedömning av tidsåtgång för skotning av ett hektar beräknades Träddelsvikten i kg TS per 100meter efter datamaterial av Bergström et al (2010b):

$$\text{Träddelsvikt i KgTS per 100m} = \frac{\text{Skördad vikt i KgTS per hektar}}{5}$$

Denna koncentration krävdes för att beräkna terminaltiden, det vill säga tiden för lastning, och lossning vid avlägg för skotning av träddeklar enligt formel ur, Eliasson och Lundström (2011):

$$T = 236,3 + \frac{550,1}{\text{TTV100}}$$

$$T = \text{Tiden i Cmin (1Cmin = 0,01min)}$$

$$\text{TTV100} = \text{Ton torrvikt (ton TS) per 100 m}$$

Då formler för beräkning av terminaltid vid buntskotning saknades antogs terminaltiden vara 45 sekunder per bunt.

Enligt Eliasson & Lundström (2011) är det normalt att skotarens lastviktskapacitet, se tabell 5, endast utnyttjas till 65-80% vid skotning av GROT och träddeklar. Baserat på dessa uppgifter beräknades sträckan för att uppnå ett fullt lass:

$$\text{Sträcka per lass: Träddelsskotning (m)} = \frac{65 \text{ el. } 80\% \text{ av maximal lastkapacitet Eco log 574C (kg)}}{\text{Träddelsvikt per 100m (kg)}} * 100$$



Vid skotning av buntar antogs hela lastutrymmet kunna utnyttjas vid lastning. Maximalt antal buntar per lass beräknades därför enligt följande formel:

$$\text{Antal buntar per lass (st)} = \frac{\text{Skotarens grindarea (m}^2\text{)} * \text{buntlängd(m)}}{\text{Buntvolym (m}^3\text{)}}$$

Den sträcka som krävs för att nå ett fullt lass vid buntskotning beräknades med hjälp av nedanstående formler:

$$\begin{aligned} \text{Sträcka för fullt lass vid buntskotning (m)} \\ = \text{Max antal buntar per lass(st)} * \text{Avstånd mellan buntar(m)} \end{aligned}$$

$$\text{Avstånd mellan buntar (m)} = \frac{\text{Beståndets längd (m)}}{\text{Antal buntar per hektar (st)}}$$

Hastigheten för en lastad skotare uppgick till 48,4 meter per minut medan hastigheten för den tomma skotaren uppgick till 62,7 meter per minut. Tidsåtgången för transport beräknades utifrån sträckan per lass. Varje tidigare skotad sträcka passerades med hastigheten för den tomma skotaren, när skotaren började lasta ansattes hastigheten för den lastade skotaren. Genom att dividera sträcka passerad med last, samt sträcka passerad tom, med respektive hastighet samt summera dessa värden ges tidsåtgången för transportarbetet. Denna metod tillämpades för både Buntskotaren samt Träddelsskotaren.

Terminaltiden tillsammans med tiden för terrängtransport gav tiden för det totala skotningsarbetet. Skotaren Eco-Log 574C har en grindarea på 4,5 m<sup>2</sup> och en maximal lastvikt på 14 000 kg.

$$\text{Terminaltid} + \text{Tidsåtgång för terrängtransport} = \text{Total skotningstid}$$

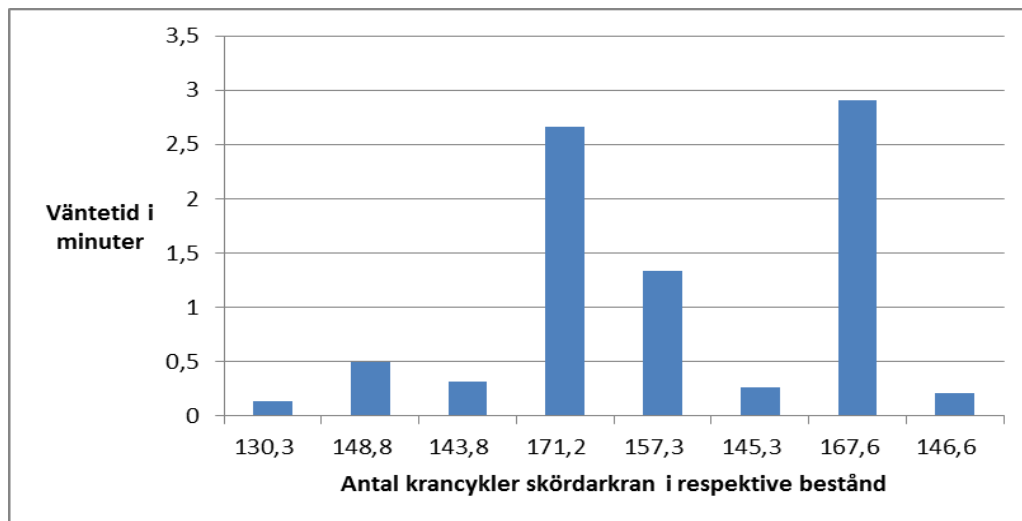
### 3. RESULTAT

#### 3.1 Tidsåtgång

##### Väntetid mellan leveranskran och skördarkran

Antalet krancykler per bestånd var i genomsnitt 151,3. Tiden som leveranskranen och skördarkranen fick vänta på varandra var i genomsnitt 7,8 sekunder per krancykel. Väntetiden mellan leveranskranen och skördarkranen var i genomsnitt 19,7 minuter per  $G_0$ -timme. Från här och vidare i resultat anges all tid som  $G_0$ -tid det vill säga effektivt arbete utan avbrott. (Figur 3).

Det uppstår ingen väntetid mellan leveranskranen och buntaren. Anledningen är att buntaren utformats så att leveranskranen alltid kan leverera biomassa till buntaren.



**Figur 3.** Väntetider i minuter per timme mellan leveranskran och skördarkran. Medelvärde per bestånd.

*Figure 3.* Waiting time per effective work hour between delivery crane and harvester crane. Mean value per stand

#### 3.2 Produktivitet

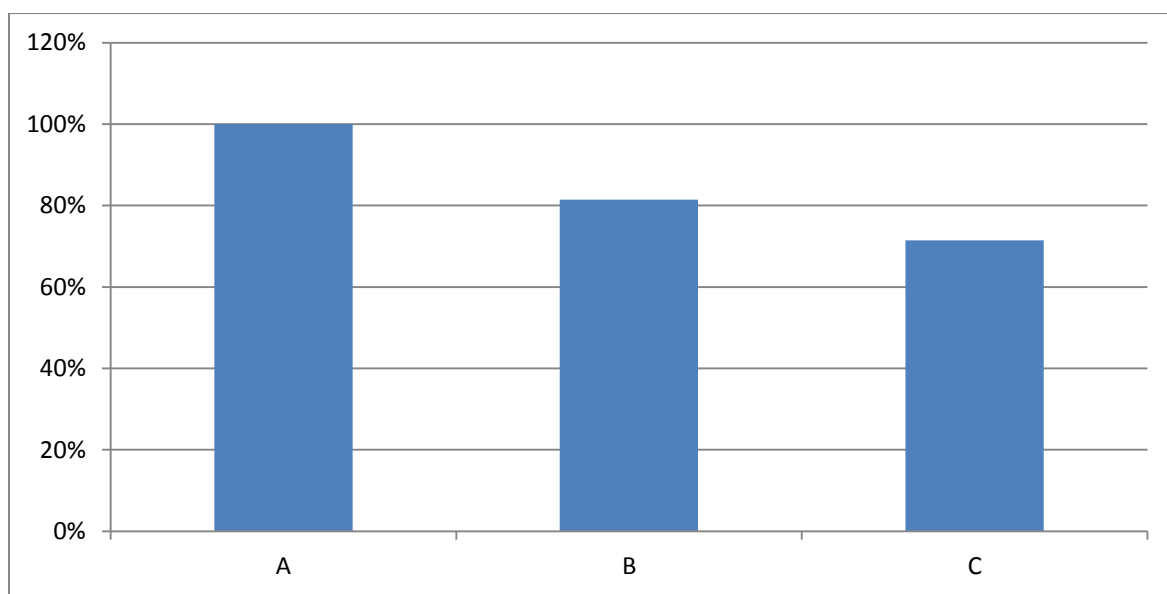
##### Bunsköraren produktivitet

Produktiviteten för bunskördaren varierade mellan bestånden. Produktiviteten för systemet om inga väntetider uppstår mellan alla ingående enheter var i medeltal 4,39 ton TS per timme (Tabell 5). Bunskördaren producerade i genomsnitt för de åtta olika bestånden 3,58 ton TS per timme vid 25 sekunders krancykeltid. Om leveranskranens effektivitet sjunker med 20 procent minskar bunskördarens produktivitet till 3,14 kg TS per timme, det vill säga med 12 procent (Figur 4).

**Tabell 5.** Resultat av skördarenhetens produktivitet i ton TS per timme i bestånd 1-8

*Table 5. The Harvesting unit's productivity measured in oven dried tons per effective work hour within block 1-8*

	Bestånd								Medel
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Produktivitet (Ton TS/ timme)	3,61	4,22	4,18	5,84	4,39	4,74	4,21	3,92	4,39
Produktivitet (Ton TS/ timme) 25 sek/leveranskran-cykel	3,18	3,49	3,49	4,77	3,49	3,82	3,18	3,18	3,58
Produktivitet (Ton TS/ timme) 30 sek/leveranskran-cykel	2,86	3,18	3,18	3,82	3,18	3,49	2,54	2,86	3,14



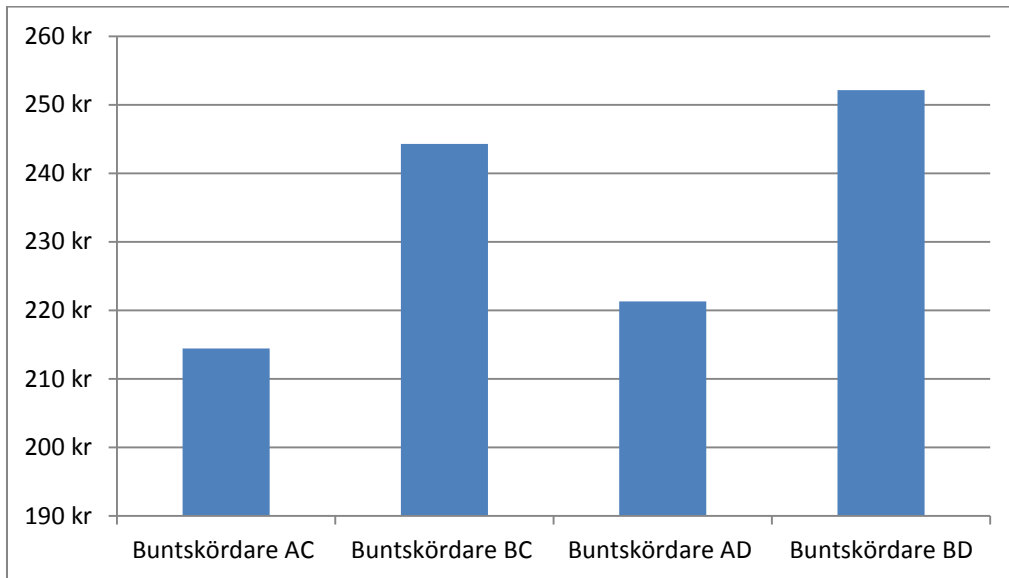
**Figur 4.** Buntskördarens produktivitet relativt sett beroende på leveranskranens hastighet; A=0 sekunder, B=25 sekunder, C=30 sekunder

*Figure 4. Productivity of the bundle harvester depending on speed of delivery crane A=0 seconds, B=25 seconds C=30seconds*

### 3.3 Systemkostnader

#### Avverkningskostnad per ton TS

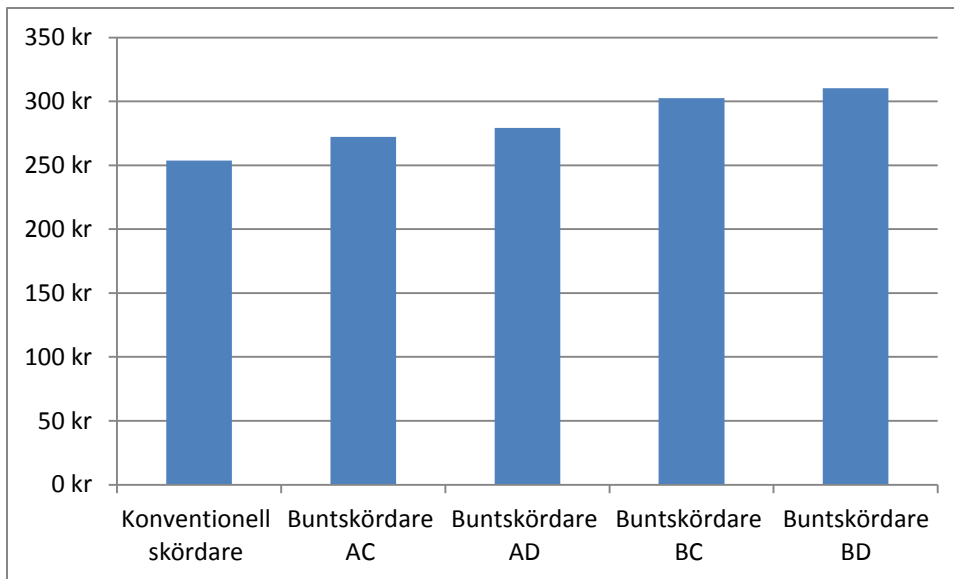
Figur 4 visar att kostnaden att skörda ett ton TS beror på priset på maskinen samt leveranskranens hastighet. Beståndets beskaffenhet påverkar också kostnaden per ton TS.



**Figur 5.** Avverkningskostnad för buntskördaren i kr per ton TS där, A = 25 sekunder per leveranskrancykel, B = 30 sekunder per leveranskrancykel, C = Investeringskostnad 3 600 000 kr, D = Investeringskostnad 4 miljoner kr

**Figure 5.** The bundle harvesters felling costs displayed as kr per ton TS where, A = 25 seconds per delivery crane cycle, B = 30 seconds per delivery crane cycle, C = Investment cost 3 600 000kr, D = Investment cost 4 000 000kr

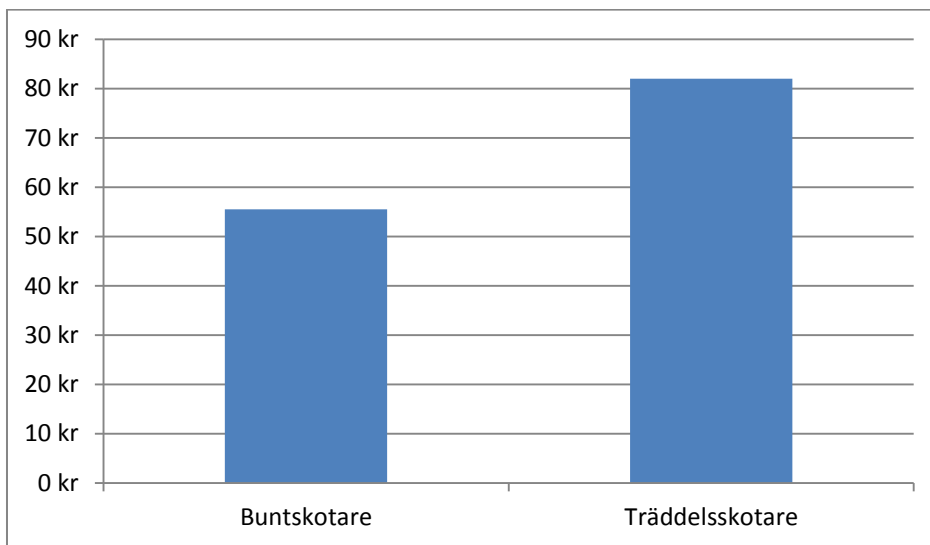
Drivningskostnaden varierade beroende på maskinuppsättning i de olika bestånden (Tabell 4). Den lägsta drivningskostnaden, 254 kr per ton TS stod den konventionella två-maskins uppsättningen Skördare – skotare för. Högst drivningskostnad, 310 kr per ton TS uppstod då timkostnaden för buntskördaren är 791,88kr per timme och leveranskranens är inställd på krancykeltiden 30 sekunder samt då beståndet skotades med Ecolog 574C, en på förhand utvald skotare med en lastkapacitet på 16 buntar per last.(Figur 6)



**Figur 6.** Avverkningskostnad inklusive skotning i kr per ton TS beroende på maskinuppsättning där, A = Tid per leveranskrancykel 25 sekunder, B = Tid per leveranskrancykel 30 sekunder, C = Investeringskostnad 3 600 000kr, D = Investeringskostnad 4 000 000kr

*Figure 6. Felling costs, including forwarding costs, displayed as kr per ton TS depending on machine set where, A = 25 seconds per delivery crane cycle, B = 30 seconds per delivery crane cycle, C = Investment cost 3 600 000 kr, D = Investment cost 4 000 000 kr.*

Skotningskostnaden för buntskotaren var 33 procent lägre än vid skotning av träddelar. Kostnaden för respektive system uppgår till 56 kr per ton TS vid buntskotning samt 82 kr per ton TS vid träddelsskotning (figur 7)



**Figur 7.** Medelkostnad per ton TS vid skotning av buntar respektive träddelar

*Figure 7. Average forwarding cost per ton TS when forwarding bundles or logging residues*

## 4 DISKUSSION

### Tidsåtgång och Produktivitet

Syftet med denna studie har varit att undersöka hur buntskördarens produktivitet och kostnader påverkas av beståndstyp, momenttider och maskinkostnader. Dessa påverkande faktorer har haft olika stor inverkan på maskinsystemet.

Produktiviteten var högst i bestånd fyra. Det beror på att detta bestånd hade grövst medelstam och mest kg biomassa per träd. Bestånd fyra hade en grundtevägd medeldiameter på 12,2 cm och varje träd höll i genomsnitt 13,5 kg biomassa. I beräkningarna har det lett fram till att det i bestånd fyra krävdes nio krancykler för att göra en bunt. I de andra bestånden förutom bestånd åtta krävdes elva krancyklar per bunt. Det färre antalet krancykler i bestånd åtta härleds till att det var flest antal stammar per krancykel och mest biomassa per krancykel i det beståndet. Beståndens beskaffenhet påverkade produktionen av biomassa per  $G_0$ -timme. Beståndstypen har emellertid inte haft störst inverkan på totalproduktionen av de tre olika faktorerna som undersöktes.

De olika momenttiderna mellan skördarkranen och leveranskranen samt mellan leveranskranen och buntningseenheten hade stor inverkan på maskinsystemets produktivitet. Störst inverkan på produktiviteten hade väntetiden mellan leveranskranen och skördarkranen. I diagram två åskådliggörs väntetiden i minuter med avseende på antal krancykler per bestånd. I detta diagram kan noteras att väntetiden i genomsnitt var längre för de bestånd där skördarkranen hade flest antal krancykler. Dessa bestånd var nummer fyra och sju. Orsaken till detta kan vara att skördarkranen levererar biomassa snabbare till leveranskranen än vad vederbörande levererar till buntningseenheten, då krancykeltiderna i dessa bestånd var kortast. Den totala väntetiden per  $G_0$ -timme i bestånden var 19,7 minuter genomsnitt. Väntetiden utgör en för stor del av den produktiva tiden. Den stora väntetid som uppstår mellan leveranskranen och skördarkranen påverkar produktiviteten avsevärt.

Den nuvarande produktiviteten hos buntningseenheten tillsammans med hastigheten hos leveranskranen motsvarar inte produktiviteten hos skördaren, utan är vid en leveranskranicykeltid om 25 sekunder endast 82 procent. Om leveranskranen skulle vara 20 procent långsammare kommer bara 72 procent av vad aggregatet kan producera ut i form av färdiga buntar. Detta innebär att under de förutsättningar buntskördaren har nu är det leveranskranen som är den begränsande faktorn. För att få en högre produktivitet på buntskördaren bör man eftersträva att leveranskranens effektivitet stiger. Systemet är känsligt för störningar. De väntetider som uppstår mellan systemets olika delar ger direkt utslag i produktiviteten. Vilket i sin tur ger utslag på kostnaden per skördat ton TS.

Buntskördaren har i simuleringen en högre produktivitet än Fixterikonceptet. Denna har vid studier uppnått en produktion på 1,092 ton TS och 1,554 ton TS beroende på bestånd. Detta innebär att buntskördaren har en produktion som är 57 procent högre per  $G_0$ -timme än Fixterikonceptet. Anledningen till detta resultat bedöms vara leveranskranen. Leveranskranen tillåter skördaren att arbeta med fällning utan längre avbrott för leverans av biomassa till buntningseenheten, något som inte är fallet i studien över Fixterikonceptet.

## Systemkostnader

Priset som innovatören har satt på buntskördaren ligger i nivå med vad en konventionell skördare kostar. Detta bedöms vara tämligen lågt räknat med tanke på att innovatören avser att utveckla en helt ny kran och en ny buntningsmaskin. Enligt resultaten är maskinsystemet mindre känsligt för ett högre pris på maskinen än för en mindre produktiv maskin. Ett tio procent högre pris på maskinen resulterar i ett högre pris per skördat ton TS på mindre än fyra procent. Leveranskranens hastighet har större inverkan på priset per skördat ton TS jämfört med priset på buntskördaren.

Resultaten i rapporten visar att produktionen av biomassa med ett Bracke C16 aggregat mätt i ton TS per  $G_0$ -timme är lägre än vad Iwarsson Wide (2009) fått fram i sin rapport. De bakomliggande faktorerna till detta kan vara flera saker. Hur van skördarföraren är att arbeta med aggregaten kan vara en anledning samt terrängen i bestånden. Priset per skördat ton TS exklusive skotning för buntskördaren var 214 kronor respektive 221 kronor då med konstruktörens beräknade hastighet på leveranskranen och ett maskinpris enligt figur 5. Priset per skördat ton TS i Iwarsson Wide (2009) var mellan 164 kronor och 168 kronor beroende på avverkningsplats. Det högre priset per skördat ton TS för buntskördaren jämfört med Iwarsson Wide (2009) är tänkt att kunna sparas in senare i logistikkedjan. Om de kostnadsbesparingar som förväntas vid senare led i produktionskedjan kan motiveras av ett högre pris per skördat ton TS med nästan tjugo procent krävs det ytterligare analyser av.

## Studiens utförande

Modellen som står till grund för resultatet för undersökningen är skapat i programmet Arena 5.0® skapat av Rockwell automations. Modellerna byggs upp av moduler som motsvarar olika steg i en produktionskedja. Modellen som användes i undersökningen var en typ med mycket låg ”upplösning” där endast fem olika moduler inkluderades för att motsvara buntskördaren.

Då undersökningen genomfördes på en väldigt lågupplöst skala uppfattas Arena i vissa avseenden vara skapat för modellering i sammanhang med större enheter. Detta är en felkälla som belyses då modellens upplösning kanske inte gör buntskördarens potential rättvisa på grund av för få indata. I en modell mer anpassad för enskilda maskinsystem och enheter hade det kunnat inkluderas fler enskilda steg såsom enskilda produktionsmoment och störtider i den slutliga modellen för en tydligare bild av vilka moment som påverkar totalproduktiviteten mest.

Vid tolkning av resultat ur modellen upptäcktes också att kötiden mellan leveranskran och skördarkran är sammanslagen till ett medelvärde. Detta medför också att det inte går att urskilja om kötiden uppstått då Skördarkranen väntat på leveranskranen eller då leveranskranen väntat på skördarkranen.

## Framtid

Resultatet i denna studie kan nyttjas av innovatören för att ge en grov fingervisning om vilka styrkor respektive svagheter som finns hos buntskördarsystemet. Genom simuleringar kan brister och svagheter i enskilda produktionsmoment analyseras samt effektiviseras och åtgärdas i ett skede då maskinen ännu inte lämnat ritbordet. Via förändringar i simuleringsdata materialet kan man även analysera hur små eller stora procentuella prestandaförändringar ger utslag på den slutliga produkten. Resultatet i denna studie, som är baserad på verkliga bestånds- och skördardata, visar vilka kostnader man kan förvänta sig vid givna produktionsnivåer i bestånd som anses vara lämpade för användning av denna typ av maskin. I simuleringar kan man också analysera hur dagens teknik för skörd av olika sortiment påverkar produktiviteten hos olika avverkningssystem. Är dagens selektiva skördeteknik effektiv nog för att tillämpas i denna typ av bestånd eller kommer det krävas ytterligare utveckling av avverkningstekniken för att göra nya innovativa system mer konkurrenskraftiga.

## Slutsatser

Studien visar att Buntskördaren vid skörd av täta förstagallringsbestånd:

- Uppnår en produktivitet i genomsnitt på 3,58 ton TS per  $G_o$ -timme. Denna prestation är 57 procent högre än vad det utvecklade Fixterikonceptet ger.
- Väntetider i systemet uppstår mellan skördarkranen och leveranskranen, vilket påverkar produktionen negativt.
- Ger en produktionskostnad av 272 kr per ton TS inklusive skotning, vilket är 7 procent högre än en konventionell skördare inklusive skotning.

Studien visar att produktiviteten påverkas framförallt av leveranskranens hastighet och väntetiden mellan skördarkranen och denna. Slutligen påverkas produktiviteten av beståndets beskaffenhet. Kostanden för konceptet påverkas framförallt av leveranskranens hastighet.

Resultatet visar att det finns en fördel med att bunta biomassan i bestånden. Kostnaden för skotning av buntar istället för skotning av lösa träddelar är över trettio procent lägre. Totalkostnaden är dock högre vid buntskörd inklusive skotning än vid konventionell skörd av biomassa inklusive skotning. Det finns potential att utveckla systemet då det är fördelaktigare att hantera biomassa i buntar. Med en fortsatt hög efterfrågan på biobränsle finns vidare utvecklingspotential av projektet. Detta medför att det finns incitament för ytterligare studier av maskinkonceptet där fler påverkande variabler bör undersökas. Analyserna bör vid vidare studier inriktas på hur effektivitetsförluster undviks samt hur systemet kan göras mer effektivt i samtliga produktionsled, dock främst hos leveranskranen.



## REFERENSER

Bergkvist, I., Löfgren, B., Jönsson, P., & Mörk., A. (2012) Simulering av maskinkoncept för energiuttag i klen skog. Opublicerat material. Skogforsk [2012-06-28]

Bergström, D., Ulvcróna, T., Nordfjell, T., Egnell, G., & Lundmark, T. (2010a) *Skörd av skogsbränsle i förstagallringar, Svarbergets fältstation, Vindeln*. Umeå: Institutionen för skoglig resurshushållning (Arbetsrapport no. 281.)

Bergström, D., Bergsten, U., & Nordfjell, T. (2010b) *Comparison of Boom-Corridor Thinning and Thinning From Below Harvesting Methods in Young Dense Scots Pine Stands*. Umeå: Institutionen för skoglig resurshushållning. *Silva Fennica* 44(4) ss. 669-679.

Brackeforest (2013-03-18). *Produktblad Bracke C16b*.  
[http://brackeforest.se/app/projects/brackeAllNew/images/C16b\\_Sv\\_Web12.pdf](http://brackeforest.se/app/projects/brackeAllNew/images/C16b_Sv_Web12.pdf) [2013-03-18]

Burström, A. & Johansson K. (2012) *Kostnader vid gallring med flerträdshanterande aggregat, från skog till industri*. Sveriges lantbruksuniversitet. Jägmästarprogrammet. (Kandidatarbeten i skogsvetenskap 2012:9)

Eliasson L. (2010) *Uppföljning av John Deere grotbuntare. Skögen – en växande energikälla*. Sammanfattande rapport från *Effektivare skogsbränslen 2007-2010*. Uppsala. Skogforsk. ss. 36-37.

Iwarsson, Wide, M. (2009). *Jämförande studie av olika tekniker för skogsbränsleuttag – Metodstudie – Uttag av massaved, helträd, kombinerat uttag samt knäckkvistning i talldominerat bestånd, Sveaskog, Askersund*. Uppsala: SkogForsk (Arbetsrapport no. 680.

Iwarsson, Wide, M. (2009). *Skogsbränsleuttag med Bracke C16 i tall-respektive barrblandskog*. Uppsala: SkogForsk (Arbetsrapport no. 682.)

Iwarsson, Wide, M. & Belbo, H. (2009) *Jämförande studie av olika tekniker för skogsbränsleuttag – Skogsbränsleuttag med Naarvagripen 1500-40E, Bracke C16A och LogMax 4000, Mellanskog, Färila*. Uppsala: SkogForsk (Arbetsrapport no. 679.)

Iwarsson, Wide, M & Belbo, H. (2010) *Jämförande studie av olika tekniker för skogsbränsleuttag i mycket klen skog - Skogsbränsleuttag med Naarvagripen 1500-40E och LogMax 4000, Mellanskog, Simeå*. Uppsala: SkogForsk (Arbetsrapport no. 709.)

Jylhä, P. & Laitila, J. (2007) Energy wood and pulpwood harvesting from young stands using a prototype whole-tree bundler. *Silva Fennica* [Elektronisk] Vol.41 ss. 763-779. Tillgänglig <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf41/sf414763.pdf> [2013-04-17]

Komatsuforest (2013-03-18) *Produktblad Komatsu 901TX.1*. [www.komatsuforets.se](http://www.komatsuforets.se/startside/produktoversikt/hjulgaende-skordare/901TX.1)  
startside/ produktoversikt / hjulgående skördare/ 901TX.1 [2013-03-18]

Kärhä, K., Jouhio, A., Mutikainen, A. & Mattila, S. (2005). Mechanized energy wood from early thinnings. *International journal of forest engineering* 16 (1): 15-26.

Larsson F., Nylinder, M. (2013-01-16) *Wood Energy Calculations*.  
<http://woodenergy.sites.djangoeuropa.com/conversion/>[2013-04-25]

Nordfjell, T. (2011) *Potential of bioenergy from young Swedish forest*, Forestpower.net 2013-04-08

Nuutinen, Y., Kärhä, K., Laitila, J., Jylhä, P., & Keskinen, S. (2011). Productivity of whole-tree bundles in energy wood and pulpwood harvesting from early thinning's. *Scandinavian journal of forest research* [Elektronisk], Vol.26 ss. 329-338. Tillgänglig:  
<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/02827581.2011.568952> [2013-03-19]

Skogsstyrelsen (2012) *Skogsstatistisk årsbok 2012*, Jönköping, Elanders NRS Tryckeri.

Skogsstyrelsen (2001) *Skogsbränsle, hot eller möjlighet? Vägledning till miljövänligt skogsbränsleuttag*. Jönköping. Skogsstyrelsen.

Sängstuvall, L., Bergström, D., Lämås, T., & Nordfjell, T. (2012) Simulation of harvester productivity in selective and boom-corridor thinning of young forests. *Scandinavian journal of forest research* [Elektronisk], Vol.27 ss. 56-73. Tillgänglig:  
<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02827581.2011.628335> [2013-03-05]

## **Personligt meddelande**

Lindberg E. Id2Re Consulting AB. Kustlandsvägen 6. 91598 Bygdeå. +46(0)70 5955205.  
Personligtmeddelande, 2013-04-08.

Olofsson L. (2013) Investium/JLO Invest AB, Nytorosgatan 14, 903 30 Umeå, +46 70-5371642, investium.se, Personligt meddelande 2012-02-08.

**Kalkylering av maskinkostnader vid drivning, generella formler 2012***Tomas Nordfjell, Skogsteknologi***A) Kalkylering för ett oändligt stort bestånd och en maskin (Inga flyttkostnader)**

- (1)  $K_D = K_T / P$   $K_D =$  Drivningskostnad för aktuell maskin (kr/m<sup>3</sup>)  
 $P =$  Produktivitet (m<sup>3</sup>/tim)
- (2)  $K_T = K_{\text{fast}} + K_{\text{rörl}}$   $K_T =$  Timkostnad för aktuell maskin (kr/tim)  
 $K_{\text{fast}} =$  Fast kostnad (kr/tim)  
 $K_{\text{rörl}} =$  Rörlig kostnad (kr/tim)
- (3)  $K_{\text{fast}} = (K_{\text{kap}} + K_{\text{uf}}) / S$   $K_{\text{kap}} =$  Kapitalkostnad (kr/år)  
 $K_{\text{uf}} =$  Fast underhållskostnad (kr/år)  
 $S =$  Systemtid (tim/år)
- (4)  $K_{\text{rörl}} = K_{\text{ur}} + K_{\text{driv}} + K_{\text{för}}$   $K_{\text{ur}} =$  Rörlig underhållskostnad (kr/tim)  
 $K_{\text{driv}} =$  Drivmedelskostnad (kr/tim)  
 $K_{\text{för}} =$  Förarlön (kr/tim)
- (5)  $K_{\text{kap}} = (I - R_n) \times A$   $I =$  Investering (kr)  
 $R_n =$  Restvärdets nuvärde (kr)
- (6)  $R_n = R \times (1+i)^{-n} A =$  Amorteringsfaktor (Annuitetsfaktor)  
 $R =$  Restvärde (kr)  
 $i =$  Kalkylränta (%/100)
- (7)  $A = \frac{i \times (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$   $n =$  Ekonomisk livslängd (år)

**B) När fler än en maskin används för avverkning och terrängtransport**

- (8)  $K_{TD} = \sum K_{D,i}$   $K_{TD} =$  Total drivningskostnad för maskinerna 1 till  $i$ ,  
 $K_{D,1} =$  skördare och  $K_{D,2} =$  skotare (kr/m<sup>3</sup>)