



**Kandidatarbeten
i skogsvetenskap**
Fakulteten för skogsvetenskap

2013:30

Produktivitet och kostnader vid skörd
och transport av skogsbränsle från klena
gallringar

*Productivity and cost of harvesting and transportation
of forest fuel from early thinnings*



Foto:Mellanskog

Marika Lundin

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

Kandidatarbeten i Skogsvetenskap

Fakulteten för skogsvetenskap, SLU

| | |
|---------------------------------|---|
| Enhet/Unit | Institutionen för skogens ekologi och skötsel Department of Forest Ecology and Management |
| Författare/Author | Marika Lundin |
| Titel, Sv | Produktivitet och kostnader vid skörd och transport av skogsränsle från klana gallringar |
| Titel, Eng | Productivity and cost of harvesting and transportation of forest fuel from early thinnings |
| Nyckelord/ Keywords | Biobränsle, systemanalys, Bracke C16, drivningskostnad Biofuels, systems analysis, Bracke C16, cost of harvesting |
| Handledare/Supervisor | Dan Bergström, Institutionen för skogliga biomaterial och teknologi |
| 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 |

Sammanfattning

Syftet med denna studie var att undersöka ett maskinsystem för uttag av trädbränsle i klena gallringar i norra Västmanland och södra Dalarna för Mellanskog. Genom driftuppföljningsdata kunde produktiviteten och kostnaderna för maskinsystemet beräknas, samt kostnaderna för sönderdelning och transport och hur dessa förändras med transportavståndet till industri.

Resultatet visar att skördarens produktivitet är beroende av storleken på skördad medelstam, samt att skotarens produktivitet sänks med ett ökat skotningsavstånd. Den totala kostnaden för drivningsarbetet för ett medelobjekt (sett till maskinsystemets produktivitet) i denna studie var 178 kr/m³f inklusive kostnader för flytt, planering och tillägg för vinst. Om man bortser från dessa kostnader uppgår kostnaden för skördaren till ca 88kr/m³f och kostnaderna för skotaren till ca 61kr/m³f. Att enbart sönderdela materialet kostar 58 kr/m³s och kostnaden för transport beror på transportavståndet, ett längre avstånd innebär en högre kostnad. Medeltransportavståndet för regionen i studien är 43 km och transportkostnaden blir då i genomsnitt 68 kr/m³s. Slutsatserna är att kostnaderna för drivningen ökar med ett längre skotningsavstånd och en mindre medelstam samt att transportkostnaden utgör en större andel av den totala systemkostnaden när avståndet till industri ökar.

Nyckelord: Biobränsle, systemanalys, Bracke C16, drivningskostnad

Abstract

The purpose of this study was to examine a system for extraction of wood fuel in first thinnings in northern Västmanland and southern Dalarna for Mellanskog. By the operational monitoring data productivity and cost of the machine system could be calculated, as well as the cost of chipping and transport, and how these change with transport distance to the industry.

The results shows that the harvester's productivity depends on the size of the harvested trees and that the forwarder's productivity is reduced with increased hauling distance. The total cost for harvesting of a medium stand (in terms of the machinesystems productivity) in this study was 178 kr/m³f including costs of removal, planning and additions for profit. Without these costs, the cost of the harvester was 88kr/m³f and the cost of the forwarder was 61kr/m³f. The chippingcost of the material was 58 kr/m³s and the cost of transportation depends on the transport distance, the longer distance means a higher cost. The average transport distance for the region in the study is 43 km and transportation cost is then an average of 68 kr/m³s. The conclusions are that the cost of the forwarding increases with longer hauling distances and a smaller trees. Transportation costs account for a larger share of the total system cost when the distance to the industry increases.

Keywords: Biofuels, systems analysis, Bracke C16, cost of harvesting

INLEDNING

Skogsbränsle

Skogsbränsle är något som vi idag betraktar som ett relativt nytt sortiment, det är det tredje största sortimentet efter timmer och massasved. Skogsbränsle kan delas upp i två underkategorier, primärt skogsbränsle samt sekundärt skogsbränsle. Primära skogsbränslen innefattar avverkningsrester i form av grenar och toppar (GROT), avverkningsstubbar, tekniskt skadat virke som ej går att använda i industri, samt klena stammar som skördas i röjning eller tidiga gallringar för att användas till energiändamål. Sekundära skogsbränslen innefattar biprodukter från industrin som inte har genomgått en kemisk process bl.a. sågspån, kutterspån och bark (Egnell, 2009).

Sedan 1980 har användningen av bibränslen i Sverige ökat med ca 3 TWh per år, vilket motsvarar ca 1,5miljoner fastkubikmeter (m³f) per år. Man beräknar att den ökade efterfrågan kommer att ligga kvar på samma nivå även i fortsättningen. År 2010 stod trädbränsle för omkring 120 TWh/år vilket motsvarar en fjärdedel av mängden totalt utnyttjad energi. Huvuddelen av detta består av industrins biprodukter som numer är fullt utnyttjade. Ökningar av bränsleleveranser måste därför ske genom primära skogsbränslen (Anon., 2010a).

År 2008 antogs ett miljö- och klimatmål inom EU, dessa mål ska vara uppfyllda till 2020 och innebär att andelen förnybar energi ska vara 20 % på EU nivå (Anon., 2013). Det mesta talar för att skogsbränsle kommer att fortsätta vara ett efterfrågat sortiment under de kommande decennierna (Egnell, 2009).

Under de senaste åren har det skett en prisökning för skogsflis. I slutet av 2012 uppgav Energimyndigheten att deras preliminära prisuppgift för skogsflis under det tredje kvartalet år 2012 uppgick till 201 kr/MWh för flis till industri, samt 207 kr/MWh för flis till värmeverk (Anon., 2012).

Gallringar

18,4% av den svenska skogsmarksarealen består av ogallrade skogar med en höjd under 15m och ett biomassa innehåll på mer än 30 ton torrsubstans (TS). Detta utgör en stående volym på cirka 258 miljoner ton TS. Detta skulle kunna innebära en årlig avverkningspotential på 5 miljoner ton TS (ca 23TWh) om man räknar in hela biomassan ovan stubben (Nordfjell et al. 2008).

Maskinsystem

Vid gallring av ungskog används två alternativa maskinsystem, det traditionella systemet med en skördare och en skotare, samt ett system som endast innefattar en maskin som sköter både avverkning samt transport (drivare) (Laitila, 2008).

Drivaren är en dyrare maskin än en traditionell skotare och gynnas av korta transportavstånd, få sortiment samt direktlassning (Bergkvist et al., 2003). Drivaren är mindre flexibel än ett maskinsystem med skördare och skotare och är därför inte lämplig där transportarbetet upptar mer tid än avverkningsarbetet (Bergkvist, 2010). Detta gör att drivaren i praktiken har svårt att konkurrera med de mer etablerade maskinsystemen, speciellt vid långa skotningsavstånd. Engreppsskördaren har svarat för en huvuddel av storskogsbrukets gallringsvolym sedan början av 1990-talet och utgör det dominerande maskinsystemet i gallringar idag. Sedan 1970-talet har skotaren varit det dominerande maskinsystemet för terrängtransport av virke (Andersson, 2004). Sedan maskinsystemet med engreppsskördare infördes på marknaden har det blivit möjligt att få ett positivt netto även i förstagallringar (Wallentin, 2007). Tidigare studier har visat att prestationen kan höjas avsevärt vid flerträdshantering jämfört med avverkningsarbete med enträdshanterande aggregat (Bergkvist, 2003b, Björheden et al., 2003, Jylhä & Laitila, 2007).

Vanligen arbetar maskinerna stickvägsgående med ett selektivt uttag i zonerna mellan stickvägarna. Vid skörd av skogsbränsle med ett ackumulerande aggregat skördas vanligen ca 2-6 träd per krancykel, dessa läggs sedan i högar vid stickvägskanten. Sedan transporteras biomassan till bilväg med en skotare. Vissa aggregat kan kapa av stammarna vid ca 4 - 6 m innan de läggs i högarna, men det går även att utrusta skotaren med en gripsåg som kapar stammarna vid lastningen (Di Fulvio et al., 2011).

Generellt så behöver alla trädbränslen sönderdelas innan förbränning. Vid flisning ställs stora krav på att materialet skall vara så rent som möjligt. Ett alternativ är att krossa materialet, vilket innebär att materialet får en stor dimensionsspridning men utrustningen är mindre känslig för föroreningar. Vid gallring med uttag av skogsbränsle sker flisning av materialet vid avlägg eller transporteras osönderdelat till industri/terminal innan flisning (Lehtikangas, 1999).

När flisningen sker vid avlägget finns det flera olika maskinsystem att använda sig av. Det vanligaste är att man använder en traktorburen hugg samt en containerbil. Fördelen med ett sådant system är att vältornas placering kan variera då flisaren är terränggående. Det innebär även en fördel då vändplanerna är små eftersom man då kan köra in med endast en container. Nackdelen med detta system är att det kräver bra samarbete mellan flisare och åkare då det lätt uppstår väntetider och svårigheter att synka enheternas produktion. Ett annat system som kan användas vid flisning är en lastbil med en påmonterad huggenhet, en så kallad huggbil. Förutom en huggenhet finns även en mindre container monterad på bilen samt ett flissläp. Nackdelarna med detta system är att vältorna måste vara placerade vid bilväg, samt att huggenhetens produktivitet blir lägre vid ökande transportavstånd. Fördelen är att det är ett flexibelt system som är oberoende av andra enheter (Anon., 2009).

Produktivitet och kostnader

Produktiviteten har en stor påverkan på den totala driftskostnaden för drivningen (Vestling, 2012). Johansson (2010) fann att den faktor som har störst påverkan på produktiviteten är medelstammens volym före gallring. Eliasson (1999) och Kärhä et al. (2005) har funnit att skördarens produktivitet är beroende av stamtäthet, medelstammens storlek samt gallringsstyrkan. En studie utförd av Bergström et al. (2011) visade att skotarens produktivitet främst påverkas av skotningsavståndet.

Beroende på var i produktionskedjan man sönderdelar materialet kan kostnaderna för sönderdelning och transport förändras. Genom att sönderdela materialet vid avlägg och transportera materialet som flis minskas kostnaderna för transport (Anon., 2010b). Detta beror på att fastmasseandelen ökar efter sönderdelning och transporten blir således effektivare.

Om materialet inte sönderdelas vid avlägg utan först transporteras till industri kan kostnaderna för sönderdelningen sänkas genom att sönderdelningen sker med större och billigare maskiner (Anon., 2010b).

Syfte

Syftet med arbetet är att beräkna kostnaden för drivnings- samt transportarbete vid skörd av skogsbränsle ur klena gallringar i Mellansverige utförda av Mellanskog. Följande frågeställningar avses att besvaras:

- Hur påverkas skördarens produktivitet av storleken på skördad medelstam?
- Hur påverkas skotarens produktivitet av skotningsavståndet?
- Vad är kostnaden för drivningsarbetet?
- Vad är kostnaden för flisning?
- Vad är kostnaden transportarbetet?
- Hur påverkar avståndet till industri avverknings- och transportkostnaden (systemkostnaden) för medelbeståndet?

MATERIAL OCH METODER

Studieupplägg

Analyserna i studien bygger på driftuppföljningsdata från Mellanskog, där man under en tid har samlat in data från entreprenörgruppen Skogs-Larsson ABs avverkningar i klena gallringar. Arbetet har utförts med ett helträdshalterande ackumulerande aggregat. Skotningen har skett med en skotare utrustad med en gripsåg. Materialet har sönderdelats vid avlägg före transport till industri. Detta har mestadels skett med huggbil utrustad med utrustning för sönderdelning och container för flis. Uppföljningsdata är insamlat på 19 bestånd i södra Dalarna och norra Västmanland. Utifrån dessa data kunde en timkostnad för detta maskinsystem beräknas med hjälp av maskinkostnadskalkyler. Med hjälp av produktionsdata kunde produktivitet och drivningskostnad beräknas för maskinsystemet. Slutligen beräknades även kostnader för flisning samt transport till industri och hur de förändrades med transportavståndet.

Bestånden

Objekten i studien var belägna i södra Dalarna och norra Västmanland och är privatägda (Tabell 1). Det totala antalet bestånd uppgick till 19. För två objekt saknades information om flisad volym. För sju objekt saknades uppgifter om skotningsavstånd. För fem objekt erhöles information om antal skotades lass och för nio objekt erhöles info om skördarens antal ackumuleringar.

Tabell 1. Beståndsdata.

Table 1. Data about stands.

| Obj. (nr) | Areal (ha) | Volym (m ³ s) | Arbetstid skördare (timmar) | Arbetstid skotare (timmar) | Skotningsavstånd, (meter) | Antal skotade lass | Antal ackumuleringar skördare | Täthet, före skörd (träd/ha) | Täthet, efter skörd (träd/ha) |
|-----------|------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 5 | 939 | 49,75 | 42,25 | 440 | 61 | 22644 | 3400 | 1394 |
| 2 | 4,3 | 746 | 42 | 51,5 | 434 | 49 | 16459 | 3787 | 1487 |
| 3 | 19,1 | 2378 | 132,25 | 112 | 649 | 110 | 26448 | 4000 | 1800 |
| 4 | 2,2 | 645 | 41,5 | 25 | 362 | 32 | 10210 | * | * |
| 5 | 1,7 | 363 | 16,5 | 10 | 230 | * | 2771 | * | * |
| 6 | 2,5 | 280 | 21,8 | 17 | 650 | * | 4645 | * | * |
| 7 | 4,7 | 690 | 42,25 | 26 | 256 | * | 10623 | * | * |
| 8 | 2,1 | 428 | 10,49 | 9 | 129 | * | 2966 | * | * |
| 9 | 1,6 | 210 | 11,24 | 7,5 | 232 | * | 3333 | * | * |
| 10 | 5,6 | 743 | 23,2 | 36 | 526 | 37 | * | * | * |
| 11 | 1,5 | 408 | 24,24 | 17,5 | 266 | * | * | * | * |
| 12 | 2,6 | 343 | 13,5 | 14,5 | 223 | * | * | * | * |
| 13 | 1,6 | 340 | 26 | 6,5 | * | * | * | * | * |
| 14 | 2,3 | 708 | 24 | 41 | * | * | * | * | * |
| 15 | 26 | 4271 | 262,5 | 189 | * | * | * | * | * |
| 16 | 2,1 | 289 | 18,5 | 13 | * | * | * | * | * |
| 17 | 1,9 | * | 25,25 | 33 | * | * | * | * | * |
| 18 | 1,4 | * | 16 | 9 | * | * | * | * | * |
| 19 | 3,7 | 934 | 51 | 51,5 | * | * | * | * | * |

* Data saknas

Skogsmaskiner

Vid avverkningsarbetet har flera olika maskiner använts, därför gick det inte att göra en kostnadsanalys för en speciell maskinmodell, utan kostnadsanalyserna fick baseras på antaganden om en medelmaskin. Som skördare antogs en Eco Log 560D (Eco Log) som basmaskin med en massa på 18,6 ton (Eco Log, 2013a). För skotaren antogs en Eco Log 574C (Eco Log) som basmaskin med en massa på 15,8 ton (Eco Log, 2013b). Skördaren har varit utrustad med aggregatet Bracke C16 (Bracke Forest AB) som är ett aggregat anpassat för uttag av skogsbränsle i klena gallringar. Det är utrustat med ackumulerande armar som möjliggör att flera stammar kan avverkas i samma krancykel.

Avverkningsmetodik

Avverkning av skogsbränsle har skett i klena gallringar med ett maskinsystem som bestod av en skördare och en skotare. Skördaren har jobbat stickväggsgående och har varit utrustad med ett flerträdshanterande aggregat som har upparbetat flera stammar i samma krancykel. Arbetet utförs enligt följande: när stammen har kapats av hålls den kvar i aggregatet med hjälp av de ackumulerande armarna, samtidigt som den första stammen fortfarande hålls fast i aggregatet förflyttas aggregatet till nästa träd varpå kapningen av nästa stam påbörjas, osv; när full grip uppnåtts läggs denna bunt ned på marken in i beståndet utan att de kvistas.

Materialet har sedan skotas till skogsbilväg med en skotare utrustad med en gripsåg. Materialet har kapats i ca 5 meters längder innan de lastas på skotaren. Träddelarna har sedan, vid bilväg, lagts i vältor för lagring innan sönderdelning.

Flisning och vägtransportsystem

I vissa fall har man använt sig av en skotar-/traktorhugg som har sönderdelat materialet och tippat detta i containrar vid bilväg. Containrar har sedan transporterats till industri med lastbil (Oscarsson, 2013, pers. komm.). I analysen har det dock antagits att endast systemet med huggbil har använts. Kostnader för detta system har beräknats med verktyget ”Kostnader för uttag av skogsbränsle - från hygge till slutkund” på SkogForsks hemsida Kunskap Direkt (Kunskap Direkt, 2013). När sönderdelning har skett med huggbil har även transporten till industri skett med samma maskin. Inom den region som avverkningarna i studien har skett har man i regel nära till värmeverken och således korta transportavstånd till industrin. När sönderdelningen har skett med en skotar-/traktorhugg har transport till industri utförts av en separat containerbil. För

uträkning av transportkostnaderna gjordes ett antagande om att all transport av sönderdelat material har skett med en huggbil. Kostnaderna för transporten beräknades tillsammans med sönderdelningskostnaden med verktyget ”Kostnader för uttag av skogsbränsle - från hygge till slutkund” (Kunskap Direkt, 2013).

Maskinkostnads kalkyler

Timkostnaden för skördare och skotare beräknades utifrån Nordfjells (2012) stencil ”Kalkylering av maskinkostnader vid drivning” (bilaga 1). Kostnadsuppskattningarna (Tabell 2) för maskinsystemet antogs vara detsamma som Burström och Johansson (2012) använde i sin studie. Investeringskostnaden för aggregatet antogs ingå i investeringsbeloppet för skördaren.

Tabell 2. Kostnadsuppskattningar för skördare och skotare.

Table 2. Assumptions of costs for harvester and forwarder.

| Kostnader | Skördare | Skotare |
|-------------------------------------|-----------------|----------------|
| Investeringsbelopp (kr) | 3 500 000 | 2 500 000 |
| Restvärde (%) | 20 | 20 |
| Kalkylränta (%) | 3 | 3 |
| Ekonomisk livslängd (år) | 6 | 7 |
| Fast underhållskostnad (kr/år) | 150 000 | 110 000 |
| Drivmedel (kr/timme) | 136 | 117 |
| Förelön (kr/timme) | 300 | 300 |
| Systemtid (timmar/år) | 2 500 | 2 500 |
| Rörlig underhållskostnad (kr/timme) | 35 | 30 |

Kostnads kalkylen inkluderade även kostnader för flytt, planering samt en vinstmarginal för entreprenadföretaget. Antagandet för dessa värden redovisas i tabell 3.

Tabell 3. Tillägg för flyttkostnad, planeringskostnad och vinstmarginal.

Table 3. Surcharge for costs of removal, planning and additions for profit.

| | |
|---|------|
| Tillägg för flytt (kr/objekt) | 4000 |
| Planeringskostnad (kr/m ³ f) | 5 |
| Vinstmarginal (%) | 7 |

Analys och statistik

För att kunna avgöra hur skördarens produktivitet påverkas av storleken på skördad medelstam gjordes en regressionsanalys på skördarens produktivitet som funktion av mängden m^3f per ackumulering. Mängden m^3f per ackumulering togs fram genom att omvandla den totala mängden biomassa från avverkning från enheten m^3s till m^3f , för detta användes samma omvandlingstal som Belbo och Iwarsson Wide (2009) använde i sin studie, d.v.s. $2,5m^3s/m^3f$. Den totala mängden m^3f dividerades sedan med antalet ackumuleringar. På så vis erhöles ett mått på hur stor volym varje kapning har genererat. För skotaren gjordes en regressionsanalys för att finna ett samband mellan skotarens produktivitet och skotningsavståndet. Liknande analyser gjordes även för att finna samband mellan skördarens kostnader och mängden m^3f per ackumulering, samt samband mellan skotarens kostnader och skotningsavståndet.

Genom att räkna ut transportkostnaden för vissa transporttransportavstånd var det möjligt att beräkna hur transportkostnaden påverkas av transportavståndet. Även den totala systemkostnaden för maskinsystemet räknades ut. En analys gjordes sedan för att se hur den totala kostnaden varierar med transportavståndet för det dyraste, billigaste och ett medelbestånd i studien. Det beräknades även hur den procentuella fördelningen mellan kostnader för drivning och sönderdelning/transport förändrades vid olika transportavstånd.

I regressionsanalyserna i studien antogs att sambandet var signifikant när P-värdet ej överskred 0,05. En bra förklaringsgrad ansågs vara över 50 %.

RESULTAT

I tabell 4 redovisas resultaten från avverkning vid de bestånd som ingår i studien.

Tabell 4. Utfall från avverkning vid objekten i studien.

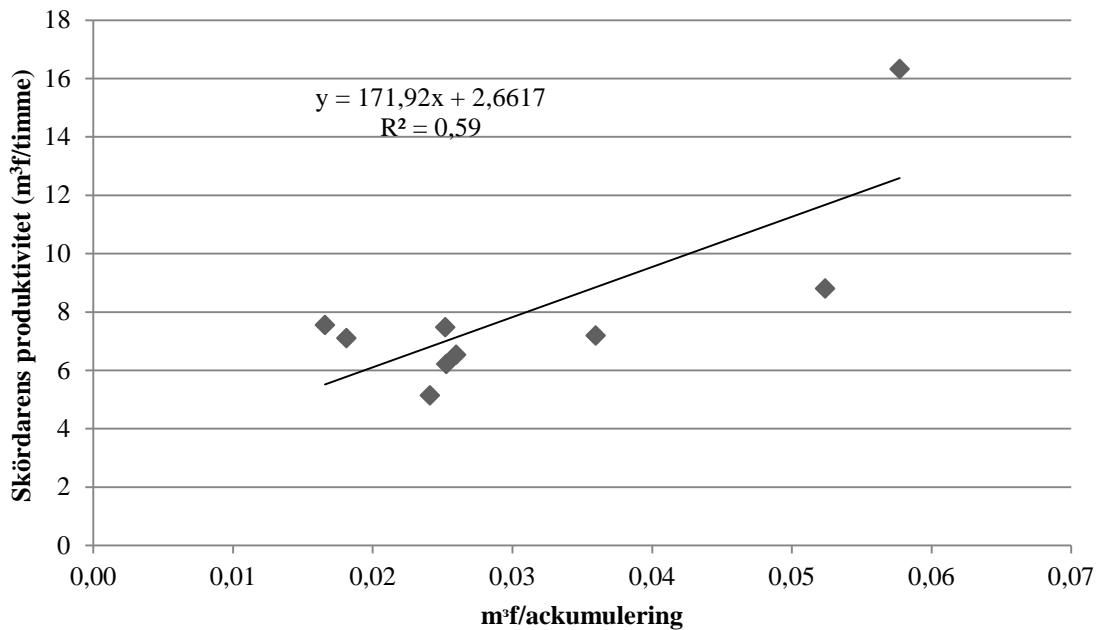
Table 4. Harvest output from the stands in the study.

| Objekt | Uttag (m3s/ha) | Produktivitet skördare (m3s/h) | Produktivitet skotare (m3s/h) | m3f/ackumulering |
|--------|----------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------|
| 1 | 188 | 19 | 22 | 0,017 |
| 2 | 173 | 18 | 14 | 0,018 |
| 3 | 125 | 18 | 21 | 0,036 |
| 4 | 293 | 16 | 26 | 0,025 |
| 5 | 214 | 22 | 36 | 0,052 |
| 6 | 112 | 13 | 16 | 0,024 |
| 7 | 147 | 16 | 27 | 0,026 |
| 8 | 204 | 41 | 48 | 0,058 |
| 9 | 131 | 19 | 28 | 0,025 |
| 10 | 133 | 32 | 21 | * |
| 11 | 272 | 17 | 23 | * |
| 12 | 132 | 25 | 24 | * |
| 13 | 213 | 13 | 52 | * |
| 14 | 308 | 30 | 17 | * |
| 17 | * | * | * | * |
| 18 | * | * | * | * |
| 19 | 252 | 18 | 18 | * |
| Medel: | 189 | 20,5 | 25,8 | 0,031 |
| Min: | 112 | 13 | 14 | 0,017 |
| Max: | 308 | 41 | 52 | 0,058 |

* Data saknas

Skördarens produktivitet

Figur 1 visar att mängden m^3f vid varje ackumulering har ett positivt samband med skördarens produktivitet. En större mängd m^3f vid varje ackumulering gav en högre produktivitet för skördaren. Förklaringsgraden (R^2) för denna regression är 59 % och P-värdet är 0,015 vilket gör att sambandet är signifikant.

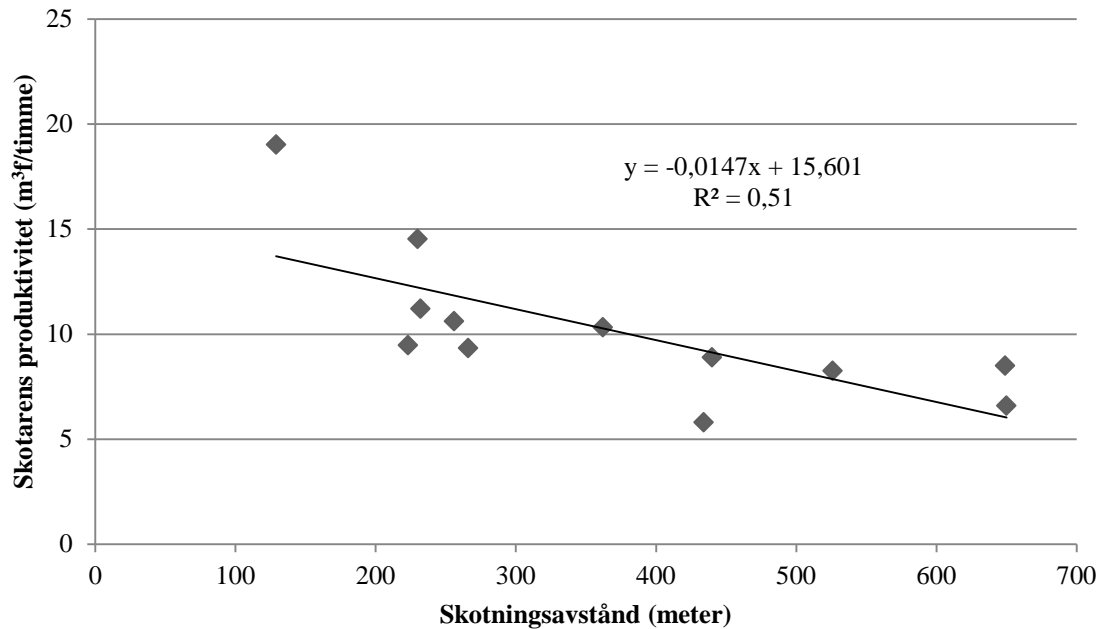


Figur 1. Skördarens produktivitet som funktion av mängden m^3f /ackumulering.

Figure 1. Productivity of the harvester as a function of m^3f /accumulation.

Skotarens produktivitet

Figur 2 visar att skotningsavståndet har en signifikant påverkan på skotarens produktivitet med ett P-värde på 0,009. Förklaringsgraden för regressionsfunktionen är 51 %. Ett längre skotningsavstånd gav en lägre produktivitet för skotaren.



Figur 2. Skotarens produktivitet som funktion av skotningsavstånd.

Figure 2. Productivity of the forwarder as a function of the hauling distance.

I genomsnitt innehöll ett skotarlass för detta maskinsystem 7,4 m³f.

Drivningskostnad

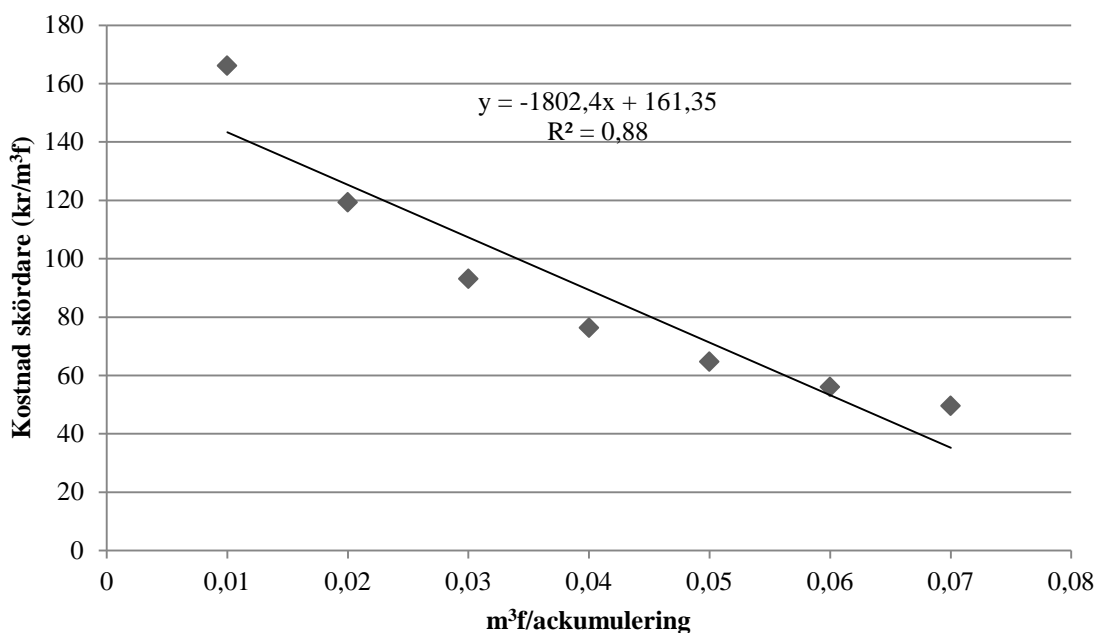
I tabell 5 redovisas skördarens produktivitet och timkostnad vid olika storlek på värdet m^3f /ackumulering.

Tabell 5. Samband mellan produktivitet, kostnader och m^3f per ackumulering för skördaren.

Table 5. Relationship between productivity, costs and m^3f per accumulation of the harvester.

| m^3f /ackumulering | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 |
|---|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Produktivitet skördare (m^3f /timme) | 4,38 | 6,10 | 7,82 | 9,54 | 11,26 | 12,98 | 14,70 |
| Kostnad skördare (kr/ m^3f) | 166,10 | 119,26 | 93,03 | 76,26 | 64,61 | 56,05 | 49,49 |

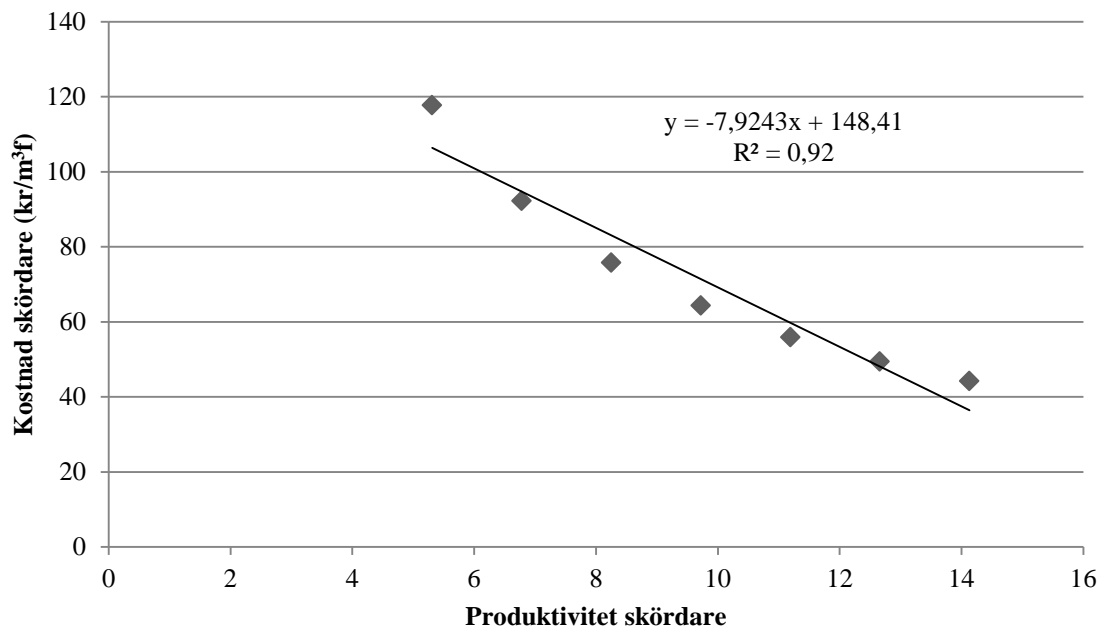
Figur 3 visar kostnaden för skördaren som funktion av skördad m^3f per ackumulering.



Figur 3. Kostnaden för skördaren som funktion av skördad m^3f per ackumulering.

Figure 3. The cost of the harvester as a function of harvested m^3f per accumulation.

Figur 4 visar hur kostnaden för skördaren varierar med skördarens produktivitet.



Figur 4. Kostnaden för skördaren som funktion av skördarens produktivitet.

Figure 4. The cost of the harvester as a function of the harvester's productivity.

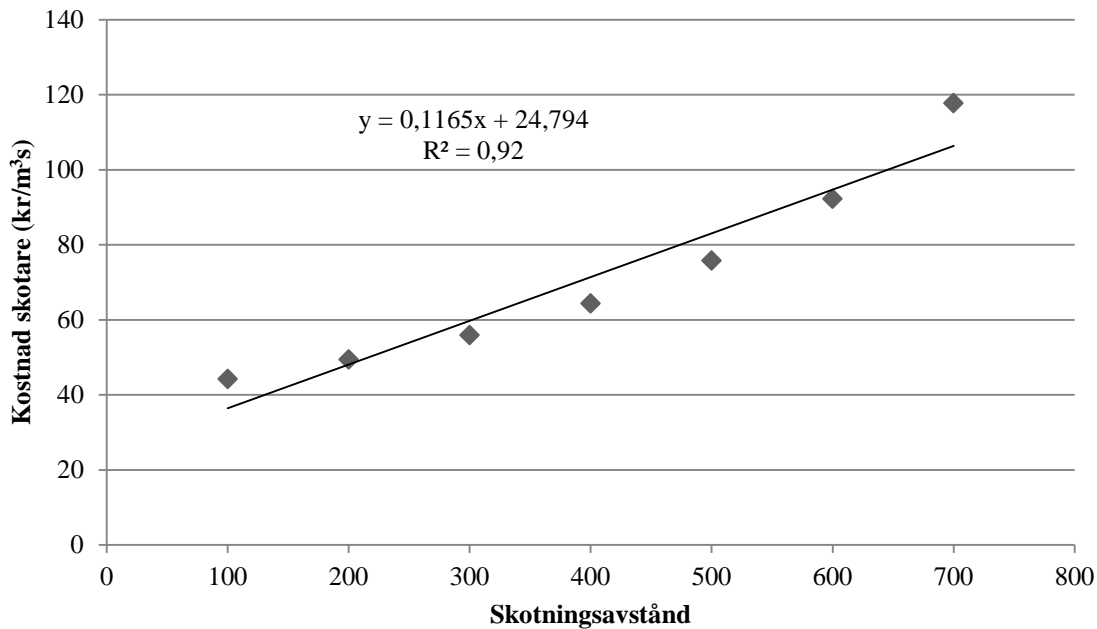
I tabell 6 redovisas skotarens produktivitet och timkostnad vid olika skotningsavstånd.

Tabell 6. Samband mellan produktivitet, kostnader och skotningsavstånd för skotaren.

Table 6. Relationship between productivity, costs and hauling distance of the forwarder.

| Skotningsavstånd | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Produktivitet skotare (m³f/timme) | 14,13 | 12,66 | 11,19 | 9,72 | 8,25 | 6,78 | 5,31 |
| Kr/m³f för skotaren | 44,26 | 49,40 | 55,89 | 64,34 | 75,80 | 92,24 | 117,78 |

Figur 5 visar hur kostnaden för skotaren påverkas av skotningsavståndet.



Figur 5. Kostnaden för skotaren som funktion av skotningsavståndet.

Figure 5. The cost of the forwarder as a function of hauling distance.

I tabell 7 redovisas delkostnader för skördaren, skotaren samt flisning och transport. Kostnaderna baseras på den genomsnittliga produktiviteten för maskinsystemen i studien.

Tabell 7. Delkostnader för ett medelobjekt (gällande produktivitet) i studien.

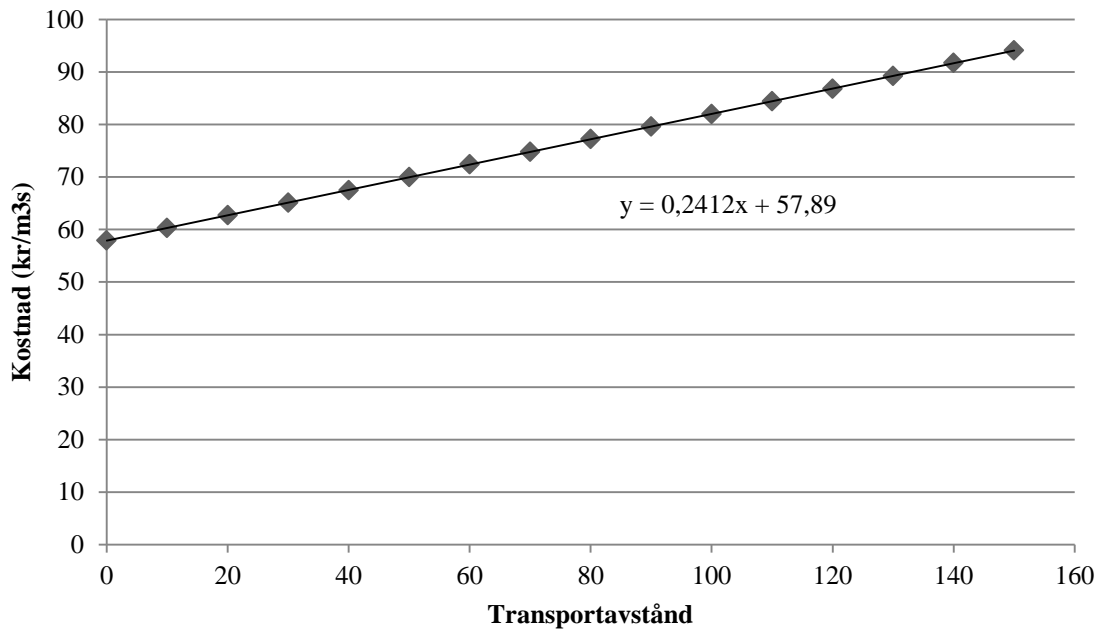
Table 7. Cost components for an average object (current productivity) in the study.

| | |
|--------------------------------|---------------------------|
| Kostnad Skördare | 88,7 kr/m ³ f* |
| Kostnad Skotare | 60,7 kr/m ³ f* |
| Total drivningskostnad | 177,6 kr/m ³ f |
| Flisnings och transportkostnad | 68 kr/m ³ s |

*Dessa kostnader inkluderar ej kostnader för flytt, planering samt tillägg för vinst

Flisning- och transportkostnad

Figur 6 visar hur kostnaden (kr/m³s) för sönderdelning och transport av flis påverkas av transportavståndet till industri. Ett ökande transportavstånd innebar en ökande kostnad för sönderdelning samt transport.

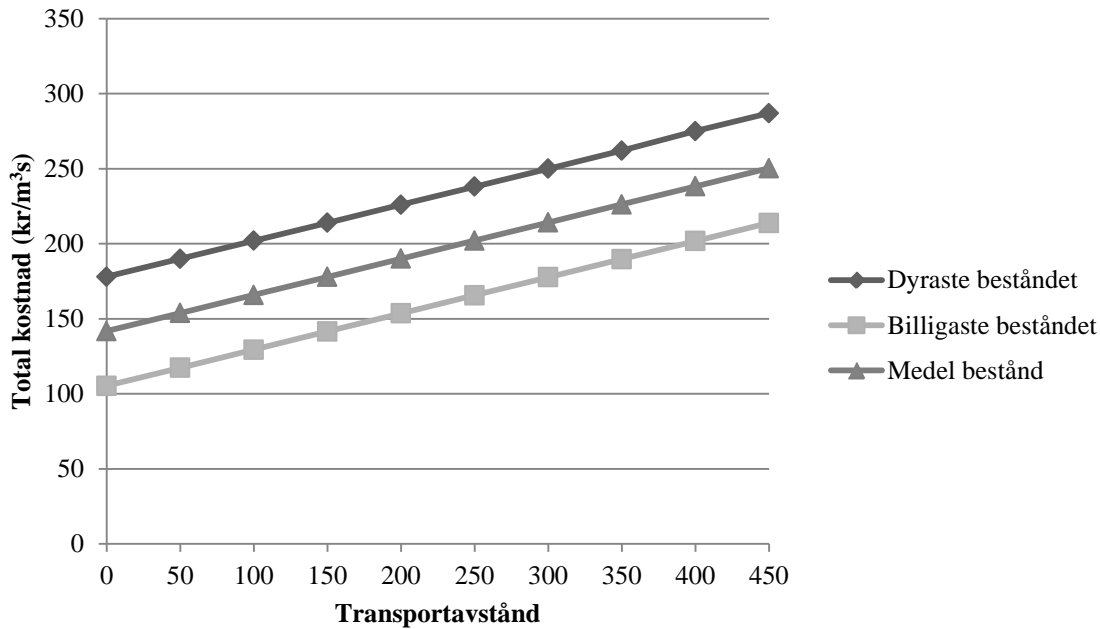


Figur 6. Kostnaden för sönderdelning och transport av flis som funktion av transportavståndet.

Figure 6. The cost of chipping and transport wood chips as a function of the distance involved.

Systemkostnad

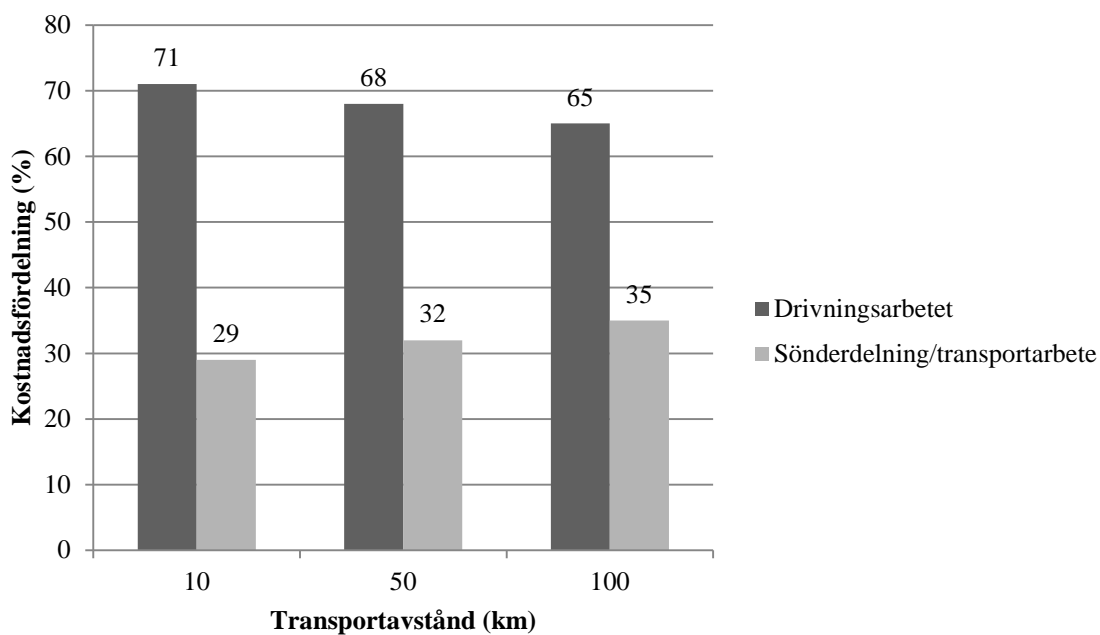
Figur 7 visar hur den totala kostnaden för drivning, sönderdelning samt transport till industri påverkas av olika transportavstånd.



Figur 7. Transportavståndets inverkan på den totala kostnaden per m³s för ett medelbestånd samt det billigaste och dyraste objektet i studien. Kostnaden vid ett transportavstånd på 0km innebär kostnaden för drivning samt sönderdelning av materialet.

Figure 7. The transport distances effect on the total cost per m³s for an average object, the cheapest and the most expensive object in the study. The cost at a transport distance of 0km means the cost for operating and chipping of the material.

Figur 8 visar hur den procentuella fördelningen av kostnader för drivningsarbetet samt sönderdelnings/transportarbetet förändras vid olika transportavstånd. Kostnaden för drivningsarbetet utgår från ett medelbestånd i studien sett till faktorer som produktivitet och uttagsstorlek.



Figur 8. Kostnadsfördelning mellan drivningen och sönderdelnings-/transportarbetet vid olika transportavstånd.

Figure 8. Cost allocation between operating and chipping/transport at different transport distances.

DISKUSSION

Ett syfte med studien var att undersöka hur skördarens produktivitet påverkas av storleken på skördad medelstam. Eftersom uppgifter om beståndets medelstam saknades gjordes analysen baserad på mängden m^3f per ackumulering, vilket i praktiken innebär ett mått på mängden biomassa vid varje klipp med aggregatet. Detta mått borde således motsvara beståndets medelstam. Resultatet blev att skördarens produktivitet påverkas positivt med en ökande medelstam. Detta samband stöds av litteraturen, flera andra studier t.ex. (Johansson, 2010; Eliasson, 1999; Kärhä et al., 2005) fann att medelstamen påverkar skördarens produktivitet. I figur 1 visas sambandet mellan dessa faktorer, som är signifikant. Som figuren visar finns det en avvikande observation som har en betydligt högre produktivitet än förväntat. Det är möjligt att denna observation är felaktig och då är sambandet inte längre signifikant. Den ströks dock inte ur studien då det inte går att fastställa att det rör sig om en felaktig observation. Hänsyn till denna avvikelse bör dock tas när man tolkar resultatet av analysen.

Det undersöktes även hur skotarens produktivitet påverkas av skotningsavståndet. Genom korrelationsanalyser framkom ett samband mellan skotarens produktivitet och skotningsavståndet, ett längre skotningsavstånd gav en lägre produktivitet för skotaren. Även andra studier (Bergström et al. 2011) har visat att skotarens produktivitet främst påverkas av skotningsavståndet. Figur 2 visar hur sambandet såg ut mellan de två variablerna, sambandet var klart signifikant och förklaringsgraden för regressionen var 51 %. Brister i analysen var att det saknades uppgifter kring skotningsavstånd för flera objekt i studien, hade det funnits uppgifter om skotningsavstånd även för dessa objekt hade analysen varit mer pålitlig.

Kostnaden för drivningsarbete beräknades via antaganden kring en medelmaskin. Eftersom flera maskiner har använts vid avverkningsarbetet gick det inte att basera maskinkostnadskalkylerna på en enda maskin. Ett bättre resultat hade kunnat uppnås om man hade haft bättre möjligheter att räkna ut den exakta kostnaden för maskinsystemet utan antaganden. Antaganden kring kostnadsanalysen togs från en studie av Burström och Johansson, (2012). Deras studie handlade om avverkning i klena gallringar med flerträdshanterande aggregat och maskinerna de beräknade kostnaderna för liknade den typen av maskiner som har använts i denna studie. Egna antaganden togs kring nivåerna på flyttkostnader, planeringskostnader samt vinstmarginal vilket givetvis tillför ytterligare osäkerhet i analysen. Kostnaden för det totala drivningsarbetet (avverkning samt skotning) inklusive flyttkostnader, planeringskostnader samt en vinstmarginal för entreprenören blev $177,6 \text{ kr}/m^3f$.

I figur 3,4 och 5 som behandlar kostnader för skördaren och skotaren antogs sambandet vara linjärt trots att sambandet i dessa figurer ser ut att vara kvadratisk.

Kostnaden för flisning beräknades via verktyget ”Kostnader för uttag av skogsbränsle - från hygge till slutkund” på SkogForsks hemsida Kunskap Direkt. Mellanskog uppskattade att det i genomsnitt kostade $31-38 \text{ kr}/m^3s$ (exklusive flyttkostnader) för dem att flisa skogsbränsle (Oscarsson, 2013, pers. komm.). I denna studie blev kostnaden för flisning (exklusive transport till industri) ca $58 \text{ kr}/m^3s$, vilket är högre än den kostnaden Mellanskog uppgav. I praktiken har det inte alltid varit möjligt att använda sig av en huggbil, utan man har då använt sig av traktorhuggar. Denna är något dyrare än den huggbil som man använder i vanliga fall

(Oscarsson, 2013, pers. komm.). Mellanskogs uppskattade medelflisningskostnad baseras alltså på användning av dessa två olika system för sönderdelning. I driftuppföljningsdatat saknades dock information om vilket sönderdelningssystem som använts för respektive objekt. Därför baserades uträkningen av flisningskostnaden på antagandet att endast huggbil har använts vid sönderdelningen.

Kostnaden för transportarbetet räknades ut med samma verktyg som kostnaden för flisning, eftersom verktyget räknade ut den totala kostnaden för både flisning och transport till industri, givet ett visst transportavstånd. Enligt Mellanskog var det genomsnittliga transportavståndet i de två virkesområden som objekten ingår i 39 samt 46 km. (Falk, 2013, pers. komm.) Ett medelvärde av transportavståndet för dessa två virkesområden innebär ett medeltransportavstånd på ca 43 km, vilket innebär att det i genomsnitt kostar ca 68 kr/m³s att sönderdela och transportera flis till industri inom denna region.

Genom att beräkna den totala kostnaden för sönderdelning samt transport för ett antal olika transportavstånd gick det att analysera hur transportavståndet påverkar kostnaden för sönderdelning och transport. Figur 6 visar detta samband. Ett längre transportavstånd gav en högre kostnad per m³s än ett kortare avstånd. För varje km ökade transportkostnaden med ca 0,24 kr.

I figur 7 redovisades hur denna kostnadsökning påverkar den totala kostnaden för det billigaste, dyraste samt medelbeståndet i studien. Som figuren visar går det att ha ett längre transportavstånd för det billigaste beståndet utan att den totala kostnaden blir högre än för det dyraste beståndet. Detta innebär att en låg drivningskostnad möjliggör ett längre transportavstånd till industri.

Den procentuella fördelningen av drivningskostnader samt sönderdelnings/transportkostnader räknades ut för tre olika transportavstånd. Drivningskostnaden baserades på ett medelbestånd i studien sett till faktorer som medelstam och skotningsavstånd. De tre transportavstånden som jämfördes i studien var 10, 50 och 100 km. Vid ett transportavstånd på 10 km upptog drivningsarbetet 71 % av kostnaderna och sönderdelnings/transportarbetet 29 %. När transportavståndet förlängdes till 50 km minskade kostnaderna för drivningsarbetet till 68 % och kostnaden för sönderdelnings/transportarbetet ökade till 32 %. Samma mönster sågs när transportavståndet ökades till 100 km, kostnaden för drivningen upptog då 65 % och drivnings/transportarbetet upptog 35 %.

Denna studie baseras på driftuppföljningsdata från en entreprenörsgrupp, detta innebär att vissa brister finns i datamaterialet och hur det är insamlat. Noggrannheten i analyserna hade varit bättre om det hade funnits data från flera objekt. Många objekt i studien saknade vissa uppgifter, exempelvis så hade två objekt ännu inte flisats och saknade därför information om hur utfallet av avverkningen såg ut. För ett flertal bestånd saknades uppgifter om skotningsavstånd samt antal ackumuleringar, analyser kring dessa faktorer fick därför baseras på de objekt som hade den infon. Hade alla bestånd haft uppgifter kring detta hade analyserna kring hur skördaren och skotarens produktivitet förändras utförts med ännu större noggrannhet.

Genom att planera studien bättre och utföra mätningar av bestånden i fält både innan och efter avverkning hade man kunnat få en bättre överblick av hur den gallrade skogen såg ut gällande

faktorer som stamtäthet, medelstam, höjd etc. samt att luckor i datamaterialet hade kunnat undvikas

Styrkan i denna studie är att den baserades på ett existerande maskinsystem som används i praktiken. Studien kan användas för att utvärdera och förbättra det befintliga eller liknanden maskinsystem. Genom analyserna om hur medelstamen påverkar skördarens produktivitet och därmed kostnaden, kan frågor kring vilka bestånd som går att avverka med denna metod besvaras. Detta gäller även analyserna kring hur skotningsavståndet påverkar skotarens produktivitet. Eftersom studien behandlar en geografiskt begränsad region kan den ha en praktisk tillämpning vid andra studier inom samma område.

Slutsatser

- Skördarens produktivitet påverkas av storleken på skördad medelstam. En större medelstam ger en högre produktivitet för skördaren.
- Skotningsavståndet har en signifikant påverkan på skotarens produktivitet. Ett längre skotningsavstånd ger en lägre produktivitet för skotaren.
- Drivningskostnaden påverkas av produktiviteten hos maskinerna, en låg produktivitet ger en högre kostnad. I denna studie beräknades drivningskostnaden till ca 178 kr/m³f.
- Kostnaden för flisning i denna studie beräknades till ca 58 kr/m³s.
- Avståndet till industri påverkar transportkostnaden. Ett längre transportavstånd ger en högre transportkostnad.
- Transportavståndet till industri påverkar transportkostnaden. Ett ökat transportavstånd leder därför till att transportkostnaden upptar en större andel av den totala systemkostnaden.

Tillkännagivande

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Dan Bergström som har ställt upp och svarat på mina frågor och funderingar under hela arbetets gång. Ett stort tack även till Åsa Öhman på Mellanskog som sammanställde driftuppföljningsdatat och lät mig ta del av det. Jag vill även tacka Skogs-Larsson AB som har utfört avverkningarna i studien. Till sist vill jag tacka Vidar Sjögren för hjälp med korrekturläsning av rapporten.

REFERENSER

Andersson, S. 2004. Skogsteknik förr och nu. Skogshistoriska sällskapets årsskrift. Tranås. Sid. 109, 113-114.

Anon. 2009. Kunskap Direkt – Flisning ur välta. Hemsida. [online]. (2009-12-15) Tillgänglig: <http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/skogsbransle/Grenar-och-toppar/Transport-av-skogsbransle/Flisning-ur-valta/> [2013-04-12].

Anon. 2010a. Skogen – en växande energikälla. Sammanfattande rapport från effektivare skogsbränslesystem 2007-2010. SkogForsk. [online]. Tillgänglig: <http://www.skogforsk.se/PageFiles/61825/Skogen%20-%20en%20v%C3%A4xande%20energi%C3%A4lla.pdf> [2013-04-08].

Anon. 2010b. Kunskap Direkt – Sönderdelning och transport av skogsbränsle. Hemsida. [online]. (2010-05-28) Tillgänglig: <http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/skogsbransle/Grenar-och-toppar/Transport-av-skogsbransle/> [2013-04-12].

Anon. 2012. Trädbränsle- och torvpriser – Nr 4/2012. Energimyndigheten. [online]. Tillgänglig: http://webbshop.cm.se/System/DownloadResource.ashx?p=Energimyndigheten&rl=default:/Resources/Permanent/Static/cc3830514eea447b8a84c6e332752cc3/Tradbransle-och-torvpriser-EN0307_SM1204_121203.pdf [2013-04-12].

Anon. 2013. Energimyndigheten. Mål rörande energianvändning i Sverige och EU [Online] Tillgänglig: <http://www.energimyndigheten.se/sv/Offentlig-sektor/Tillsynsvagledning/Mal-rorande-energianvandning-i-Sverige-och-EU/> [2013-04-15]

Belbo, H. & Iwarsson Wide, M. 2009. Jämförande studie av olika tekniker för skogsbränsleuttag. Skogforsk. (Arbetsrapport / Skogforsk, 2009:679)

Bergkvist, I. 2003. Flerträdshantering höjer prestationen och ökar nettot i klen gallring. Resultat från SkogForsk nr 5 2003. ISSN: 1103-4173

Bergkvist, I., Hallonborg, U. & Nordén, B. 2003. Drivaren är konkurrenskraftig. Resultat från SkogForsk nr 14 2003. ISSN: 1103-4173

Bergkvist, I. 2010. Drivare I svenskt skogsbruk – Erfarenheter och möjligheter till utveckling. Redogörelse nr 1 2010, SkogForsk. ISSN: 1103-4580

Bergström, D., Di Fulvio, F., Kons, K. & Nordfjell, T. 2011. Skörd av övergrov salix med skogsbrukets maskiner. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå. Arbetsrapport 334 2011. ISSN 1401-1204

- Björheden, R., Gullberg, T. & Johansson, J. 2003. Systems analyses for harvesting small trees for forest fuel in urban forestry. *Biomass and Bioenergy*, 24, 389-400.
- Burström, A. & Johansson, K. 2012. Kostnader vid gallring med flerträdshanterande aggregat, från skog till industri. Institutionen för skogens ekologi och skötsel, SLU, Umeå. Självständigt arbete 15 högskolepoäng.
- Di Fulvio, F., Bergström, D. & Nordfjell, T. 2011. Skörd av skogsbränsle och/eller massaved i förstagallringar, vägkanter och på igenväxt åkermark. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå. Arbetsrapport 343 2011. ISSN 1401-1204
- Eco Log (2013a). Produktblad [Online] Tillgänglig: http://www.eco-log.se/datasheets/harvesters/Eco_Log_Harvesters_D-series_se.pdf [2013-04-22]
- Eco Log (2013b). Broschyr [Online] Tillgänglig: http://www.eco-log.se/datasheets/brochures/Eco_Log_C-series_Skotare.pdf [2013-04-22]
- Egnell, G. 2009. Skogsskötselserien nr 17, skogsbränsle. Skogsstyrelsens förlag.
- Eliasson, L. 1999. Simulation of thinning with a single-grip harvester. *Forest Science*, 45: 26-34.
- Johansson, P. 2010. Skogsbränsledrivare i klen förstagallring med contorta. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå. Arbetsrapport 283 2010.
- Jylhä, P. & Laitila, J. 2007. Energy wood and pulpwood harvesting from young stands using a prototype whole-tree bundler. *Silva Fennica*, 41(4): 769-779.
- Kunskap Direkt 2013. Kostnader för uttag av skogsbränsle - från hygge till slutkund [Online] Tillgänglig: <http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/Alla-Verktyg/Skogsbransle---kostnader/> [2013-04-22]
- Kärhä, K., Jouhiahho, A., Mutikainen, A. & Mattila, S. 2005. Mechanized energy wood harvesting from early thinnings. *International Journal of Forest Engineering*, 16(1): 15-26.
- Laitila J. 2008. Harvesting technology and the cost of fuel chips from early thinnings. *Silva Fennica* 42 (2): 267-283.
- Lehtikangas, P. (1999). Andra upplagan: Lagringshandbok för trädbränslen. Uppsala: Institutionen för virkeslära, SLU.
- Nordfjell, T., Nilsson, P., Henningson, M. & Wästerlund, I. 2008. Unutilized biomass resources in Swedish young dense stands. *Proceedings: World Bioenergy 2008*, 27-29 May, Jönköping, Sweden. s. 323-325.
- Nordfjell, T. 2012. Kalkylering av maskinkostnader vid drivning, generella formler 2012. Inst. f. skoglig resurshushållning, SLU, Umeå. Stencil.

Vestling, B. 2012. Kostnadspåverkande faktorer för skördare – En analys av uppföljningsdata hos Stora Enso Skog. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå. Arbetsrapport 384 2012.

Wallentin, C. 2007. Thinning of Norway spruce. Doctoral thesis Swedish University of Agricultural Sciences. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae 2007: 29.

Muntliga referenser

Oscarsson, Bo. Skogsbränsleledare, Mellanskog (2013-04-04). Personlig kommunikation.

Falk, Eva. Leveransledare biobränsle, Mellanskog (2013-04-05). Personlig kommunikation.

Bilaga 1

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/m³)
 $P =$ Produktivitet (m³/tim)
- (2) $K_T = K_{fast} + K_{rörl}$ $K_T =$ Timkostnad för aktuell maskin (kr/tim)
 $K_{fast} =$ Fast kostnad (kr/tim)
 $K_{rörl} =$ Rörlig kostnad (kr/tim)
- (3) $K_{fast} = (K_{kap} + K_{uf}) / S$ $K_{kap} =$ Kapitalkostnad (kr/år)
 $K_{uf} =$ Fast underhållskostnad (kr/år)
 $S =$ Systemtid (tim/år)
- (4) $K_{rörl} = K_{ur} + K_{driv} + K_{för}$ $K_{ur} =$ Rörlig underhållskostnad (kr/tim)
 $K_{driv} =$ Drivmedelskostnad (kr/tim)
 $K_{för} =$ Förarlön (kr/tim)
- (5) $K_{kap} = (I - R_n) \times A$ $I =$ 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 , tex
 $K_{D,1} =$ skördare och $K_{D,2} =$ skotare (kr/m³)

C) Tillägg vid kalkylering för ett ändligt bestånd (Flyttkostnader tillkommer)

Tillägg till formel (8) ovan enligt följande:

- (9) $K_{TD} = \sum K_{D,i} + \sum K_{F,i}$ $\sum K_{F,i} =$ Flyttkostnad för maskinerna 1 till i ,
till exempel skördare och skotare (kr/m³)
- (10) $\sum K_{F,i} = K_Q / V_B$ $K_Q =$ Total flyttkostnader för objektet (kr), det vill säga
summan av flyttkostnaderna för de olika maskinerna.
 $V_B =$ Objektets storlek (m³)

D) Tillägg inkluderande planeringskostnader

Ytterligare tillägg till formel (8) ovan enligt följande:

$$(11) \quad K_{TD} = \sum K_{D,i} + \sum K_{F,i} + K_{\text{plan}} \quad K_{\text{plan}} = \text{Planeringskostnad (kr/m}^3\text{)}$$

(K_{plan} kan ibland vara uppdelad på en fast och en rörlig del)

E) Tillägg inkluderande entreprenadföretagets vinst

Ytterligare tillägg till formel (8) ovan enligt följande:

$$(12) \quad K_{TD} = (\sum K_{D,i} + \sum K_{F,i} + K_{\text{plan}}) \times (1+r)$$

r = vinstmarginal i (% /100)