



Skogsbränsledrivare i klen förstagallring med contorta

Forest fuel harwarder in early thinnings of lodgepole pine



Patrik Johansson

Arbetsrapport 283 2010
Examensarbete 30hp D
Jägmästarprogrammet

Handledare:
Dan Bergström

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skoglig resurshushållning
901 83 UMEÅ
www.srh.slu.se
Tfn: 090-786 81 00



ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR-283-SE

Skogsbränsledrivare i klen förstagallring med contorta

Forest fuel harwarder in early thinnings of lodgepole pine

Patrik Johansson

Examensarbete i skogshushållning med inriktning mot skogsteknik, 30hp

Jägmästarprogrammet

EX0492

Handledare: Dan Bergström, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, teknologi

Examinator: Ola Lindroos, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, teknologi

Extern handledare: Jonas Arvidsson, SCA Skog AB Västerbottens skogsförvaltning

Förord

Denna studie har genomförts som ett examensarbete omfattande 30 hp-poäng på D-nivå, vilket motsvarar 20 veckors heltidsstudier. Arbetet har gjorts inom huvudämnet skogshushållning med inriktning mot skogsteknik. Uppdragsgivare var SCA Skog Västerbottens skogsförvaltning.

Ett stort tack till min handledare på SLU Dan Bergström som har varit till stor hjälp under arbetets gång.

Ett stort tack till Jonas Arvidsson och Ulf Hallin på SCA Skog som har bistått med råd och tips samt gjorde detta examensarbete möjligt att utföra.

Tack till Torbjörn och Jonas Nilsson på Fällmyra AB som bistod med maskin och förare under fältstudien.

Tack till min familj som har bistått med hjälp och stöd under hela arbetets gång.

Patrik Johansson

Alnö 25 maj 2010

Sammanfattning

Syftet med studien var att mäta en drivares produktivitet vid uttag av skogsbränsle i klena förstagallringsbestånd med contortatall och beräkna drivningens ekonomi samt skatta kvaliteten på gallringen. Försökslokalen var belägen vid Arvåns järnvägsstation cirka 15 km sydost om Lycksele stad. Försöken blev utförda i tre olika bestånd med ungefär samma ålder men med olikheter gällande t.ex. träslagssammansättningen och stamtäthet. Drivaren i studien var en Valmet 801 Combi som var anpassad för helträds-skörd, med bland annat modifierat lastutrymme och ett ackumulerande fäll- och gripaggregat. För studien inmättes 10 parceller/studieytor fördelade i de tre olika bestånden. Stamtätheten före avverkning var i snitt 3809 stammar/ha, medelstammen var 0,031 m³fub.

I medeltal skördades 2135 stammar/ha vilket motsvarade 26,2 ton torrsbstans (TS)/ha. Gallringsstyrkan motsvarade 41% av den totala biomassan på 64,1 tonTS/ha. I medeltal stod det 1647 stammar/ha kvar i det gallrade beståndet. Stickvägsytan utgjorde i medeltal 20% av den totala arean. Stickvägsbredden var 4,3 m. Skadeandelen på kvarvarande träd var i snitt 2%. Den totala tidsåtgången per hektar var i snitt 13,9 G₀-timmar räknat från att maskinen körde till beståndet tills att skogsbränslet låg i välta vid bilväg (100 meter skotningsavstånd). Medelproduktiviteten var 1,87 tonTS/G₀-timme vid 100 meter skotningsavstånd. Vid 100 meter skotningsavstånd, en maskintimkostnad på 835 kr/G₀-timme, ett råvarupris på 80 kr MWh och vid skördad medelstam av 0,022 m³fub gav skogsbränsleskörd med drivare ett negativt netto på -1985 kr/hektar. Nettointäkten per hektar påverkades mycket av medelstammens storlek vid uttaget men även priset på råvaran kr/MWh hade stark påverkan på lönsamheten.

Nyckelord: Drivare, kombinerad skördare-skotare, skogsbränsle, contorta, helträdsuttag

Summary

The aim for the study was to examine a harwarder's (combined harvester-forwarder) productivity when harvesting forest fuel in first thinning stands that contains Lodgepole pine and calculate the economy of the harvesting work and estimate the quality of the thinning. The field study area where located near Arvån, about 15 kilometres south –east from the city of Lycksele. The field studies were taken place in three different stands. All tree stands had the same tree age, but the tree species combination and the density varied. The harwarder in the study was a Valmet 801 combi modified for whole tree harvesting. Ten study units were created in the tree stands, each study unit was 1250 m². The average density before thinning was 3809 trees/ha, the average stem size was 0.031 m³.

In average were 2135 trees/ha harvested, corresponding to 26.2 oven dry tons (ODt)/ha. After thinning was the average stand density 1647 trees/ha. Twenty percent of the total surface of the stand were strip roads, and the average width of the strip road was 4.3 m. The number of damaged residual trees correspond to 2% of the total number of residual trees. The total time consumption including harvest and forwarding work (100 m forwarding distance) was 13.9 E₀-hour/ha. The average productivity was 1.87 ODt/ E₀-hour at 100 meter forwarding distance. The net yield was -1935 SEK/ha given that the forwarding distance was 100 meter, the cost per hour was 835 SEK/ E₀-hour, the price for the forest fuel was 80 SEK/MWh and the average harvested stem size was 0.022 m³. The net yield per hectare is highly affected by the harvested stem size but also the price for the forest fuel SEK/MWh affected the net yield.

Keywords: Harwarder, combined harvester-forwarder, forest fuel, lodgepole pine, whole tree harvesting

Innehållsförteckning

1 INTRODUKTION.....	8
1.1 BAKGRUND.....	8
1.2 GALLRING AV CONTORTA (PINUS CONTORTA)	8
1.3 SKOGSBRÄNSLESYSTEM	9
1.4 DRIVAREN	10
1.5 SYFTE	11
2 MATERIAL OCH METODER	12
2.1 FÖRSÖKSLOKAL.....	12
2.2 BESTÅNDSINVENTERING FÖRE DRIVNING	12
2.3 MASKIN, AGGREGAT OCH FÖRARE.....	15
2.4 GALLRINGSINSTRUKTION	15
2.5 ARBETSMETOD	16
2.6 TIDSSTUDIER	17
2.7 BESTÅNDSINVENTERING EFTER DRIVNING.....	18
2.7.1 <i>Inmätning av skördad biomassa</i>	20
2.8 EKONOMI.....	21
2.8.1 <i>Maskinkostnad</i>	21
2.8.2 <i>Intäkter</i>	21
2.9 STATISTIK.....	21
3 RESULTAT	22
3.1 GALLRINGSDATA.....	22
3.2 KVALITET	24
3.3 TIDSTUDIERESULTAT	26
3.4 TERRÄNGTRANSPORT	28
3.5 BRÄNSLEFÖRBRUKNING	30
3.6 PRODUKTIVITET.....	30
3.7 EKONOMI.....	33
3.7.1 <i>Kostnader</i>	33
3.7.2 <i>Intäkter</i>	33
4 DISKUSSION	35
4.1 MATERIAL OCH METODER.....	35
4.2 PRODUKTIVITET.....	35
4.3 KVALITETEN.....	36
4.4 KOSTNADER OCH INTÄKTER	37
4.5 JÄMFÖRELSE MED SKÖRDARE – SKOTARESISTEM	40
4.6 UTVECKLING AV METOD/ARBETSSÄTT.....	41
4.7 RÅVARAN	42
5 SLUTSATSER.....	44
REFERENSER	45
<i>Litteratur:</i>	45
<i>Internet:</i>	47
<i>Muntliga referenser</i>	47

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Unga täta bestånd riskerar att få kvalitetsnedsättningar och diametertillväxten hämmas om de inte röjs eller gallras; risken för snöbrott ökar och vindstabiliteten försämras markant med ökad täthet (Pettersson et al. 2007). Røjning och gallring är åtgärder som reducerar stamtätheten i unga till medelålders bestånd, tillväxten fördelas på färre stammar vilket innebär att konkurrensen om ljus, vatten och näring minskar som i sin tur gynnar ökad tillväxt på rotsystem, kronor och stam på kvarstående träd (Pettersson et al. 2007). Vid røjning tas inget gagnvirke tillvara från beståndet, dvs. stammar fälls och lämnas kvar i beståndet. Vid konventionell förstagallring tar man ut massaved (och ev. klintimmer) som gagnvirke där endast stammar med en brösthöjdsdiameter (dbh) över cirka 8 cm är kommersiellt gångbara. Det normala vid gallring är att grenar och toppar lämnas i beståndet (Korsfeldt 2007). Som ett alternativ för att möjliggöra ett större biomassauttag kan hela träd (trädbiomassa ovan stubbskär) skördas som skogsbränsle vilket innebär att alla träddimensioner och även grenar, toppar och barr har ett kommersiellt värde. Detta innebär att den skördade volymen per hektar blir större (Liss 2004). I sena røjningar och klena gallringar är motormanuell røjning kostsam på grund av grova stammar som tar lång tid att fälla (Eriksson & Rytter 2000). En konventionell gallring får höga avverkningskostnader i klena gallringar på grund av beståndets låga medelstam och låg andel gagnvirke. Om träden istället skördas som skogsbränsle kan intäkterna öka vilket kan ge ett positivt netto, eller åtminstone täcka en stor del av avverkningskostnaderna (Eriksson & Nordén 1999).

Till stor del lagras trädens näringsämnen i grenar och barr. Hos yngre träd av gran (*Picea Abies* (L.) Karst) och tall (*Pinus Silvestrus* L.) utgör barr, grenar och topp cirka 50 % av trädens biomassa (Liss 2002). Eftersom barr och grenar innehåller betydligt mera näringsämnen än stamveden, räknat per viktsenhet torr biomassa, innebär ett uttag av dessa träddelar att förlusterna av de vanligaste näringsämnena blir betydligt större jämfört med ett uttag av enbart stamved (Liss 2002). Helträdsskörd kan på vissa boniteter resultera i framtida tillväxtförluster för beståndet (Jylhä 2004). Enligt Mattsson (1999) kan tillväxtförlusten vid uttag av skogsbränsle i förstagallring av tall uppgå till omkring sju procent av den löpande tillväxten, vilket kan resultera i att omloppstiden förlängs med drygt ett år.

1.2 Gallring av contorta (*Pinus Contorta*)

Under perioden 1973 till 1983 planterades det inom SCA Skog årligen cirka 14 000 hektar contortatall (*Pinus contorta* L.), detta innebär att stora arealer med contortabestånd idag är i behov av gallring för att kunna utvecklas till bestånd med hög kvalité (Andersson 2010 pers. komm.). Enligt SCA Skog:s senaste avverkningsberäkning ska de gallra fram 200 000 fastkubikmeter (m³f) contortavirke per år under de närmaste 10 åren (Andersson 2010 pers. komm.).

På grund av att contorta lägger mycket av sin tillväxt i gren- och barmassa och mindre i stam och rotsystem blir träden relativt instabila, därför är det viktigt att i ett tidigt stadium glesa ut beståndet så att det blir ”stabilare” mot naturkrafter som vind och snö (Norgren & Elving 1995). Contorta har relativt sega kvistar, lös bark och ”mjukt” virke vilket medför att stammen lätt kan brytas under kvistningen, speciellt ju närmare toppen man kommer.

Det är också vanligt att contortans topp är krokig eller är dubbel vilket försvårar kvistningen ytterligare och för att undvika stambrott under kvistningen är det viktigt att knivarna på skördaraggregatet är justerade för contorta (Johansson 2010 pers. komm.). För att minimera skaderisken och upprätthålla fortsatt hög tillväxt i contortabestånd är det viktigt att uttaget ej blir för hårt (hårt gallringsuttag) (Arvidsson 2009 pers. komm.).

SCA Skog bedömer att avverkningskostnaden i förstagallring idag är 5-10% dyrare i contorta jämfört med förstagallring i tall- och granbestånd (Johansson 2010 pers. komm.). Utifrån SCA Skogs gällande skötselinstruktioner kommer contorta gallras tidigare; nu vid en övre höjd av 11-13 m istället för 13-15 m (som gällde tidigare) och konsekvensen av detta blir att medelstammen sjunker och detta leder till en högre avverkningskostnad (Johansson 2010 pers. komm.)

1.3 Skogsbränslesystem

Vid konventionell förstagallring av rundvirke används i huvudsak engreppsskördare med efterföljande skotare som transporterar ut virket till bilväg (Andersson 2004). Det förekommer även i viss utsträckning att flerträdshanterande skördaraggregat används där ett flertal mindre träd kan skördas och kvistas i en och samma krancykel, vilket innebär att upparbetningstiden per träd minskar och produktiviteten ökar (Liss 2004). Vid gallring där skogsbränsle skördas används oftast en engreppsskördare som basmaskin utrustad med ett ackumulerande aggregat som fäller och lägger träden i buntar utan att träden kvistas (Liss 2004). Ett flertal studier visar att produktiviteten (m^3 per timme av produktivt arbete (G_0 -tim)) vid såväl konventionell gallring som skogsbränsleavverkning främst påverkas av medelstorleken på de avverkade träden; ju högre medelstam desto högre produktivitet (Eriksson & Rytter 2000, Kärhä et al. 2005, Ersson 2007, Dahl 2008, Nilsson 2009). Tabell 1 redovisar några utförda studiers produktivetsdata, och är baserad på Edlund (2009) men kompletterad med tillkomna studier.

Tabell 1. Sammanställning av studier på skogsbränsleskörd med ackumulerade fällaggregat i röjnings- och gallringsbestånd. Dbh=diameter vid brösthöjd, TS = torrsubstans, G₀-timme = en timme av produktivt arbete

Table 1. Summary of studies of biofuel harvest with accumulating felling heads in delayed pre-commercial thinning stands and early thinning stands. Dbh=diameter at breast height, TS = dry matter, G₀-timme = one hour of productive work

System		Beståndsdata		Resultat		Referens
Aggregat	Basmaskin	Dbh (cm)	Höjd (m)	Uttag (tonTS/ha)	Produktivitet (tonTS/G ₀ -tim)	
EnHar	FMG 0470 (5,8 ton) beståndsgående skördare, 5,5 m kran och klämbanke	3,6-6,5	6,3-8,8	25	0,5-2,0	(Gullberg et al.1998)
Timberjack 720	Rottne 2004 (6,0 ton) beståndsgående skördare, 7 m kran	7,4	-	-	1,9	(Hammar 2000)
Naarva-Grip 1600-40	Valmet 901 (14,0 ton), beståndsgående skördare, 10 m kran	3,5	4,9	12,7	1,15	(Kärhä et al. 2005)
Silvatec	Gremo 950 HPVR (14,0 ton), stickvägsgående skördare, 10 m kran	8,0-12,0	10,5-12,4	25,0- 42,7	4,1-5,8	(Nilsson 2009)
Naarva-Grip 1000-23	Vimek 404R (2,8 ton), beståndsgående skördare, 5 m kran	4,6	7,05	55,9	1,0	(Ersson 2007)

1.4 Drivaren

Fördelen med ett enmaskinsystem (drivare) jämfört med det konventionella tvåmaskinsystemet (skördare och skotare) är t.ex. att de administrativa kostnaderna blir mindre, det blir en lägre flyttkostnad per objekt och maskinoperatören får ett mer omväxlande arbete (både skördar och skotar) (Laitila & Asikainen 2006).

Varianter av drivare har funnits många år och redan i slutet på 50-talet fanns det en variant i USA som användes för att avverka massaved, men den försvann när sågverken började såga klenare diametrar (Wester 2001). Dagens typ av drivare började utvecklas i samband med att engreppsskördaren kom ut på marknaden. Då det kranspetsmonterade skördaraggregatet utvecklades fanns det möjlighet att montera bankar och stakar på maskinen som på en vanlig skotare (Wester 2001). I dagsläget finns det specialtillverkade drivare (ej modifierad skotare), t.ex. Valmet 801 combi (Komatsu Forest AB, Sweden) och PIKA 728T (S. Pinomäki Ky, Finland). Dessa drivare har bland annat kraftigare hydraulkapacitet jämfört med skotarbaserade drivare, och en modifierad kran för att passa drivarens arbetssätt (Ljungdahl 2004). Länge var produktiviteten vid rundvirkesavverkning för låg för att kunna konkurrera med tvåmaskinsystemet, men utvecklingen har gått framåt (Bergkvist et al. 2003). Drivaren har fördelar som gör att den kan vara konkurrenskraftig

jämfört med skördare-skotare system: direktlastning av virket gör bland annat att kranrörelserna minskar vilket leder till en minskning av t.ex. bränsleförbrukningen. I klena bestånd som ligger nära bilväg har drivaren lägre kostnader jämfört med skördare-skotare system (Bergkvist 2007).

För att skapa ett enmaskinsystem för uttag av skogsbränsle i dagsläget är det vanligt att använda en skotare som basmaskin och montera ett ackumulerande klippaggregat i kranspetsen, t.ex. Dahl (2008) och Eriksson och Rytter (2000) har studerat sådana drivare. Dahl (2008) jämförde produktiviteten mellan ett drivarsystem med klipp och manuell avverkning med efterföljande skotning vid skörd av åkerkanter. I detta fall var drivaren ett mer lönsamt system jämfört motormanuell avverkning med efterföljande skotning. Eriksson och Rytter (2000) studerade om skogsbränsleuttag med drivare kan vara ett alternativ till motormanuell röjning i lövskog. Resultaten visade att drivaren gav en dyrare avverkning jämfört med motormanuell röjning i bestånd som hade en medelstam på 0,024 samt 0,029 m³sk. Vid en medelstam på 0,046 m³sk uppnåddes en produktivitet av 2,2 – 3,2 m³sk/G₀- tim, och vid den medelstammen var drivaren mer lönsam jämfört med motormanuell röjning i samma bestånd (Eriksson & Rytter 2000).

Den normala arbetsgången för en drivare i klena gallringsbestånd är att man 1) avverkar två basvägar, en på vardera sida om beståndet, 2) avverkar stickvägarna som går mellan de två basvägarna och 3) avverkar i beståndet (mellan stickvägar) (Ljungdahl 2004). I tidigare studier har det undersökts om drivaren ska backa in i beståndet eller köra framåt, och det har framkommit att högst produktivitet blir det om maskinen körs framåt hela tiden (Ljungdahl 2004).

1.5 Syfte

Syftet med studien var att 1) mäta en drivares produktivitet vid uttag av skogsbränsle i klena förstagallringsbestånd med contorta och 2) beräkna drivningens ekonomi samt 3) skatta kvaliteten på gallringen (utifrån skadeandel, stickvägsandel, stickvägsbredd samt överensstämmande med gallringsinstruktion).

2 Material och metoder

2.1 Försökslokal

Försökslokalen var belägen vid Arvåns järnvägsstation cirka 15 km sydost om Lycksele stad. Marken ägdes och förvaltades av SCA Skog AB Västerbottens förvaltning. Försöken blev utförda i tre olika bestånd med ungefär samma ålder (Tabell 2) men med olikheter gällande t.ex. trädslagssammansättningen och stamtäthet.

Tabell 2. Information om bestånden som försöken utfördes i
Table 2. Information about the stands used in experiments

Bestånd nr.	Koordinat RT 90	Ålder (år)	Ståndortsindex	Höjd över havet (m)
1	71652 - 16573	26	T20	240
2	71654 - 16565	29	T22	220
3	71649 - 16532	30	C25	240

De tre bestånden hade en något olik historik: Bestånd 1 blev markberett med fläckmarkberedare år 1983, planterades med contorta 1983 och år 1994 utfördes en ungskogsröjning på cirka 60% av arealen; Bestånd 2 blev markberett med fläckmarkberedare år 1980, planterades med contorta 1980, år 1988 utfördes en lövröjning och 1994 utfördes en ungskogsröjning; Bestånd 3 blev markberett med fläckmarkberedare år 1974 och planterat med contorta 1974 på 15% av arealen, 1978 blev 35% av arealen planterat med contorta och 1984 planterade man svensk tall på 10% av arealen, resterande areal av bestånd 3 var självföryngrat och år 1994 blev två tredjedelar av arealen ungskogsröjd.

Anledningen till att utföra försöken i olika bestånd var att skapa en tillräckligt stor variation av beståndsfaktorer, för att kunna se hur gallringens prestation förändras vid variation på stamtäthet, medelstam och andel contorta.

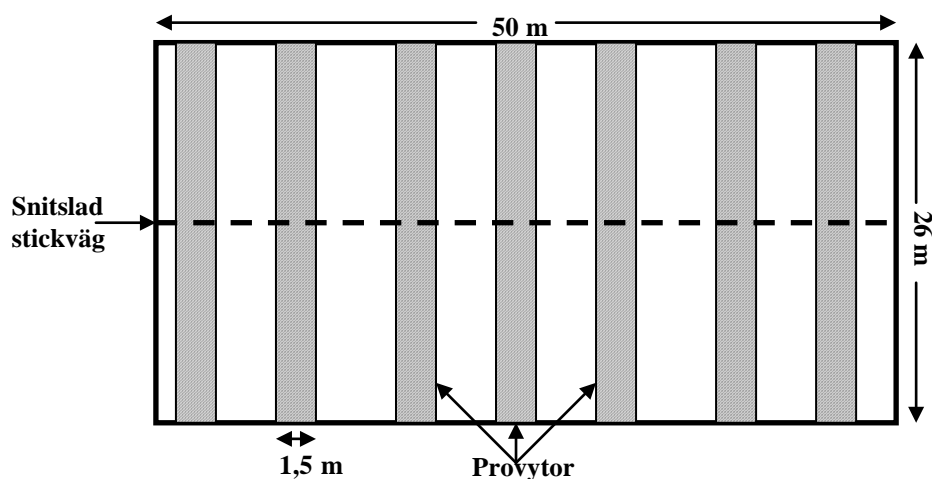
2.2 Beståndsinventering före drivning

För studien markerades 10 stycken parceller/studieytor (fördelade i de tre olika bestånden). Storleken på en parcell valdes så att maskinen kunde utföra cirka en timmes produktivt arbete och på så sätt säkerställa att tillräckligt många upprepningar av arbetets olika moment utfördes (Fig. 1). I samtliga parceller markerades stickvägscentrum samt början och slutet av parcellen med snitselband (Fig. 1).

Parcell 1, 2, 3 och 8 var belägna i bestånd nr 1, parcell 4 var belägen i bestånd nr 2 och parcell 5, 6, 7, 9 och 10 var belägna i bestånd nr 3.

En parcell karakteriserades genom inventering i sju systematiskt utlagda bandprovytor som sträckte sig mellan kortsidorna på parcellen (Fig. 1). Första bandet lades ut fem meter in från parcellens början, sedan lades provytorna ut var sjunde meter för att erhålla data jämt fördelat över hela parcellen. Varje bandprovyta hade en storlek på 39 m² och totalt inventeras 20% av parcellens totala areal. I varje bandprovyta inventerades stamantal, trädslag, dbh, stubbskärsdiameter, höjd och grund-, yt- och lutningsförhållanden (GYL). Grundförhållandena beskrivs på en skala från 1-5 där 1 betyder bra markbärighet hela året och 5 betyder bärighet enbart på frusen mark; ytstruktur beskrivs också den på en skala

från 1-5, där 1 betyder mycket jämn markyta och 5 betyder mycket ojämn markyta; lutning beskrivs även den på en skala från 1-5 där 1 betyder plan mark eller svag lutning ($0-6^\circ$) och 5 betyder stark lutning ($> 27^\circ$) (Berg 1983). Endast levande träd högre än 1,3 m inventerades. Inom varje parcell utsågs provträd på vilka även stubbskärsdiametern och höjden mättes; i de stamtätaste parcellerna mättes vart femte träd som provträd och i de mindre stamtäta var fjärde träd (Holm 2009 pers. komm.). Stubbskärsdiameter mättes cirka 12 cm från marken. Utifrån provträden i varje enskild parcell beräknades medelhöjden (Tabell 3).



Figur 1. Schematisk bild som beskriver parcellens utformning med placering av provytor och stickvägscentrum.

Figure 1. Schematic sketch describing a study unit with a strip road centreline and the transactional, to the strip road, plots in which inventory was performed.

För beräkning av stamvolym (m^3 fub) för tall och gran användes Brandel's (1974) funktioner för träd med $dbh \leq 5$ cm samt Näslund's (1947) funktioner för beräkning av stamvolym för tall, gran och björk med en $dbh > 5$ cm. För beräkning av stamvolymen på contorta användes Eriksson's (1973) funktioner. För beräkning av hela trädets biomassa för svensk tall, björk och gran användes Ulvcrona's (pers. komm. 2009) biomassafunktioner vilka är baserade på variablerna dbh (cm) och höjd (dm) och biomassan anges som kg TS. För beräkning av biomassan till contorta användes Snorrason & Einarsson's (2006) funktioner.

Tabell 3. Parcellernas karakteristik före gallring
 Table 3. Stand characteristics of study units before thinning

		Parcell										Medel	max	min	sd
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Trädslags- fördelning % av stamantal Inom parantes: % av biomassa	Stam/ha	3114	2 637	2930	4066	3480	4579	4139	6218	2784	4139	3809	6218	2637	1078
	Dbh (cm)	7,4	8,3	7,2	7,3	7,3	4,5	6,7	5,3	9,6	8,4	7,2	9,6	4,5	1,48
	Höjd (dm)	79,0	82,4	77,5	79,0	82,6	65,0	78,8	71,2	92,3	82,0	79,0	92,3	65,0	7,22
	Grundyta (m²)	15,8	17,4	14,7	20,4	19,3	10,0	17,5	17,2	22,0	31,2	18,5	31,2	10,0	5,53
	G	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	3	1	0,63
	Y	1,6	2,7	2,6	2,4	2,3	3,0	2,0	3,0	2,0	1,4	2,3	3,0	1,4	0,55
	L	2,5	2,0	1,8	1,0	1,3	1,5	1,5	2,0	1,5	1,4	1,6	2,5	1,0	0,43
	Contorta	56 (74)	69 (89)	70 (94)	64 (92)	19 (26)	13 (38)	25 (46)	2 (2)	50 (64)	21 (38)	39 (56)	70 (94)	2 (2)	26 (31)
	Svensk Tall	31 (24)	13 (9)	9 (3)	32 (7)	73 (59)	57 (38)	58 (47)	2 (0)	47 (35)	61 (60)	38 (28)	73 (60)	2 (0)	25 (23)
	Gran	1 (0)	4 (1)	8 (3)	0 (0)	1 (1)	0 (0)	0 (0)	4 (1)	0 (0)	6 (1)	2 (1)	8 (3)	0 (0)	3 (1)
	Björk	12 (2)	14 (1)	13 (1)	4 (1)	7 (14)	30 (23)	17 (7)	92 (97)	3 (1)	12 (1)	20 (15)	92 (97)	3 (0)	26 (30)
	Volym (m³fub/ha)	100	118	99	137	108	52	91	80	139	175	110	175	52	34,5
	Medelstam (m³fub)	0,032	0,045	0,034	0,034	0,031	0,010	0,020	0,013	0,050	0,042	0,031	0,050	0,010	0,013
	Biomassa (tonTS/ha)	54,8	63,7	53,5	73,4	66,1	30,7	58,7	54,1	76,9	109,1	64,1	109,0	30,7	20,4

G= Grundförhållanden, Y= Ytstruktur, L= Lutning.

2.3 Maskin, aggregat och förare

Som basmaskin användes en Valmet 801 Combi (årsmodell 2003) (Komatsu Forest AB, Sweden). Denna drivare vägde 19800 kg, var 2.8 m bred, hade 8 hjul och kunde lasta 13000 kg. Däckbredden på framaxeln var 600 mm och på bakaxeln 700 mm. Drivaren var utrustad med en Cranab CRC 15 vikarmskran (Cranab AB 2010, websida) med en räckvidd på 11 meter. Svängvinkel på drivarens hytt (och kran) var 540° (Komatsu Forest 2010, websida). Maskinens lastutrymme var modifierat för hantering av hela träd och träddelar; det svängbara lastbordet var utbytt till ett fast lastbord med fyra hydrauliska rörliga stakar för lastkomprimering (jmf. Bergström 2009). Det kranspetsmonterade aggregatet var ett kombinerat fäll och gripaggregat med ackumulerande fällhuvud av märket Nisula 280E (Nisula Forest 2010, websida). Aggregatet vägde 290 kg och hade en hydraulisk klipp med en fälldiameter på 20 cm. Fällhuvudet var utrustat med en tilt, griparmar och en ackumulerande flerträdshanterande funktion.

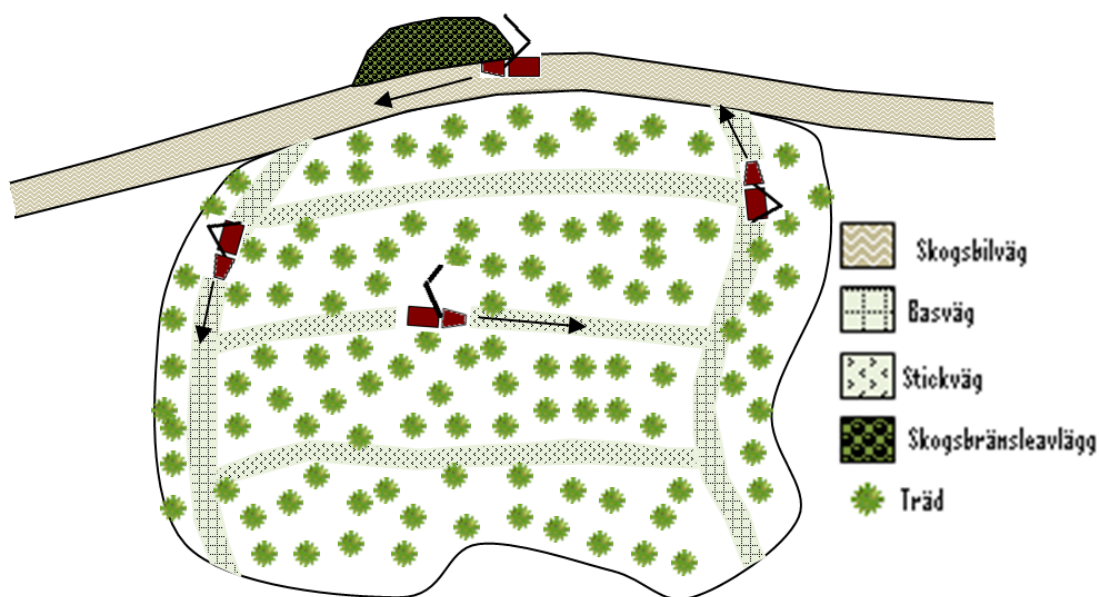
För studien användes en och samma förare. Föraren var 22 år gammal och hade fyra års erfarenhet av att köra skogsmaskin och merparten av dessa år hade han jobbat med olika typer av skogsbränslesortiment. Drivaren i studien hade han kört i cirka två år, huvudsakligen i klena gallringar samt huggning av väg- och åkerkanter.

2.4 Gallringsinstruktion

Gallringsinstruktionen för försöken var att skapa ett trädförband mellan 2,0 – 2,5 m, vilket motsvarar ett stamantal mellan 2500 - 1600 stammar/ha. I största möjliga mån skulle beståndet gallras underifrån, dvs. att ta de klenaste träden. I instruktionen ingick även att gynna kvaliteten på det kvarvarande beståndet och lämna bra kvalitativa huvudstammar. Träden som skulle avverkas var i första hand träd med dålig kvalitet såsom vargar, träd som var undertryckta och träd med dubbeltoppar. Viktigt var också att inte skapa luckor i ”onödan” samt att huvudstammarna skulle enkelställas.

2.5 Arbetsmetod

I studien ingick inte skörd av basvägar. I skördarbetet arbetade alltid drivaren framåt enligt Figur 2.



Figur 2. Schematisk bild över maskinens arbetsgång. Pilarna indikerar körriktning.

Figure 2. Schematic sketch describing the harwarders work. Arrows indicating moving direction.

Först avverkades stickvägen: när maskinföraren avverkat ett träd eller fler så lade han träden framför maskinen för att sedan påbörja en ny krancykel, när föraren bedömde att han avverkat träd till en full grip klippte han av de längsta topparna och lade på högen, därefter tog gripens ett nytt tag på mitten av högen, vinklade högen vertikalt för att komma lätt förbi träden i stickvägskanten utan att skada dem, sedan förde han kranen i princip över hytten för att sedan lasta högen på lastutrymmet. Samtidigt med lastningen vinklades de rörliga laststakarna ut från maskinen för att skapa en större lastarea, när lastningen var genomförd vinklades laststakarna in mot lasset för att komprimering.

När stickvägen var färdigavverkad transporterades maskinen ut träddelarna till avlägg för lossning (Fig. 2). Efter lossningen återgick maskinen till början av parcellen (framkörning tom) för att påbörja avverkning mellan stickvägarna (Fig. 2). Vid avverkning mellan stickvägarna (beståndsavverkning) arbetade föraren enligt gallringsinstruktionen, dvs. träd avverkades selektivt på vardera sida av stickvägen ut på fullt krändjup. Vid fällningsarbetet arbetade maskinföraren mycket med kranen framför sig och på sidan om maskinen. När maskinföraren avverkat ett träd eller fler så förde han kranen med träden ståendes in mot maskinen för att inte skada andra träd, därefter lade han träden framför maskinen och följde samma procedur som vid stickvägsavverkningen. När hela parcellen var genomgallrad, transporterades träddelarna till avlägg (terrängkörning med lass) för lossning (Fig. 2). Maskinföraren eftersträvade att skapa en lastlängd på cirka fem meter, detta för att erhålla vältor som är anpassad till lastbilens lastutrymme, samt för att undvika ett utstickande lass som kan orsaka skador i beståndet.

2.6 Tidsstudier

För att få fram total arbetstid och fördelningen mellan arbetsmoment utfördes tidsstudier på följande moment.

- Drivning i parcellen (stickvägsupptagning och beståndsavverkning var för sig)
- Framskotning av skogsbränslet till avlägg samt lossning på avlägg
- Framkörning tom till aktuell plats där avverkning påbörjas igen.

Tidsstudien utfördes som en frekvensstudie där aktuella moment noterades var sjunde sekund. Tidsstudien startar när maskinen passerar början på parcellen och slutar när maskinen passerar bortre parcellgränsen. Tidsstudien indelades till stor del enligt Ersson (2007) studie med några tillägg för att passa drivarens arbetsgång (Tabell 4 och 5). Om momenten överlappade varandra registrerades det moment med högsta prioritet. Totaltiden för varje parcell mättes separat. För att få en tidsangivelse var sjunde sekund användes en metronom av märket Korg MA-30 som gav en tydlig signal, signalen betyder att då noteras det arbetsmoment som utförs just då.

Tabell 4. Indelning av drivarens arbetsmoment, dess gränser och prioritetsordning vid avverkningsarbetet

Table 4. The definition and hierarchy of the machine work elements when harvesting

Arbetsmoment	Momentgränser	Prioritetsordning
Kran ut tom	Tom kran ut tills griparmarna hade omslutit den första stammen helt för avskiljning.	1
Klippning/ackumulering	Från att första stammen omsluts helt tills det sista trädet avskiljts (inklusive kranens rörelse till de andra träden under ackumuleringsfasen).	1
Kran in lastad	Från att sista trädet avskiljts tills aggregatet hade lagt högarna på marken, inklusive tillrättläggning.	1
Klipp av långa toppar	Från att sista stammen är lagd på högen tills att alla långa toppar är avklippt och tillrättlagda på högen.	1
Lastning	Från att aggregatet omslutit högen helt till att den lagt högen på lastutrymmet.	1
Ompositionering	All maskinkörning kortare än 10 m.	2
Körning	All maskinkörning längre än 10 m.	2
Störning	T.ex. när träd tappas och plockas upp igen eller losskapning av rotklumpar.	2
Övrig verktid	När föraren rekognoserar från hytten samt manuellt arbete.	2
Avbrott	Störningar som ej ingår i verktiden (telefonsamtal, maskinfel mm.).	3

Tabell 5. Indelning av drivarens arbetsmoment, dess gränser och prioritetsordning vid skotningsarbetet

Table 5. The definition and hierarchy of the machine work elements when forwarding

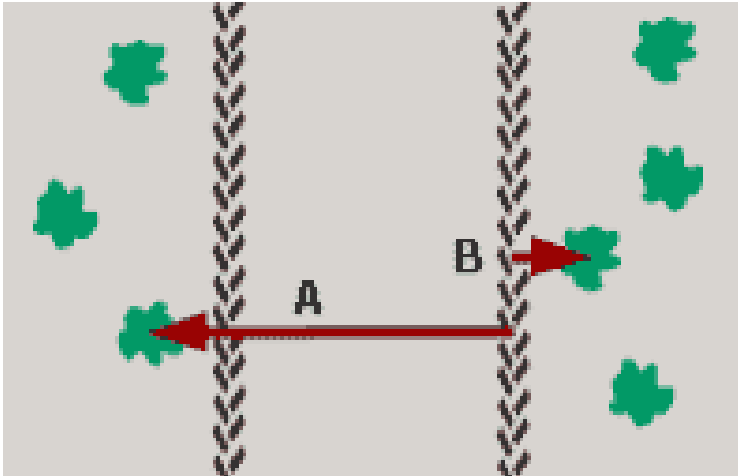
Arbetsmoment	Momentgränser	Prioritetsordning
Körning med last till avlägg	Från att kranen lagts tillrätta och maskinen börjar röra sig till att maskinen stannar vid avlägget och kranen börjar röra sig.	1
Lossning	Från att maskinen stannat vid avlägget och kranen börjar röra sig tills att sista trädet avlastats och kranen läggs tillrätta på maskinen.	1
Tillrättaläggning av virket på avlägget	Från att kranen släppt högen den hade i gripen och att den börjar ordna till på högen i avlägget tills att kranen börjar gå tillbaka till flaket fortsatt avlastning.	2
Framkörning till avverkning	Från att allt är avlastat och kranen ligger still och maskinen börjar röra sig framåt tills maskinen stannar upp vid avverkningsområdet och kranen börjar röra sig.	1
Ompositionering	All maskinkörning kortare än 10 m.	2
Körning	All maskinkörning längre än 10 m.	2
Störning	T.ex. när träd tappas och plockas upp igen.	2
Övrig verktid	När föraren rekognoserar från hytten samt manuellt arbete.	2
Avbrott	Störningar som ej ingår i verktiden (telefonsamtal, maskinfel mm.).	3

Bränsleförbrukningen (liter/timme) på drivaren mättes genom att maskinen tankades full och timräknaren på maskinen lästes av, och när maskinen sedan tankades igen registrerades tankad volym och antal driftstimmar.

Försöken genomfördes i slutet av oktober 2009 under en veckas period. Vädret var omväxlande med uppehåll, lite snö och stundtals sol. Temperaturen var i snitt nollgradig. Sikten var god under hela veckan, dock begränsades sikten något på grund av snö i träden. Maskinen hade två haverier under studietiden, en hydraulslang till fällaggregatet gick sönder och fick bytas ut samt en hydraulcylinder till hytten knäcktes vilket tog cirka en dag att reparera

2.7 Beståndsinventering efter drivning

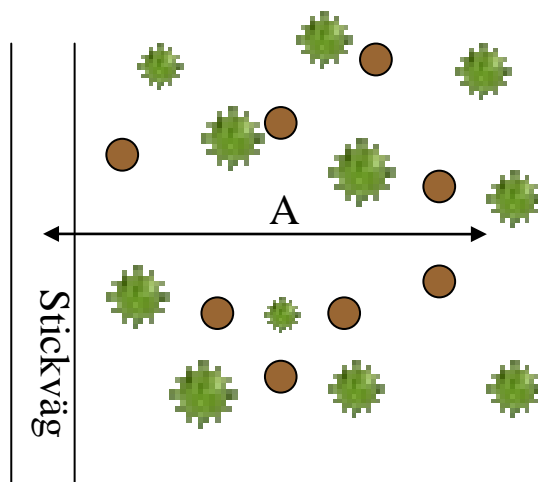
Efter avverkningen inventerades parcellerna igen i samma bandprovytor som innan drivningen. I varje bandprovyta klavades alla kvarstående levande träd över 1,3 meter i dbh samt alla synliga stubbar. Stickvägsbredden mättes där provytorna korsade stickvägen och mättes enligt SLU metoden; dvs. mellan de två träd som stod närmast stickvägen på vardera sidan (Fig. 3) inom tio meter från provytemitt (Björheden & Fröding 1986).



Figur 3. Schematisk bild över en stickväg och hur mätning av stickvägsbredden utfördes; längden på A plus B ger stickvägsbredden

Figure 3. Schematic sketch of a strip road and description of how the measurement of the strip road width was performed; the length of A plus B gives the width of the strip road

Mätningen resulterade i sju bredder per parcell och stickvägsbreddens medeltal beräknades. Stickvägsytan beräknades genom att ta stickvägsbredden multiplicerat med parcelllängden. Stickvägsavståndet mättes genom att mäta avståndet (A) (Fig. 4) från stickvägscentrum ut till träden som avverkats längst bort från stickvägen och sedan multiplicera det värdet med två.



Figur 4. Schematisk bild över beståndet med stickväg där A är avståndet från stickvägscentrum ut till det sista avverkade trädet vinkelrätt ut från stickvägen

Figure 4. Schematic sketch of the stand with a strip road, A is the distance from the centre of the strip road to the last harvested tree perpendicular from the strip road.

För kvalitetsuppföljning på arbetet användes SCA Skogs instruktion för gallringsuppföljnings, där det ingår det att mäta uttagsstyrkan vid gallringen, stickvägsbredd, stickvägsavstånd och skadeandel både gällande skador på kvarvarande träd samt körskador på marken. Dessa kvalitetsfaktorer ställs mot upprättade acceptabla nivåer

för att kunna fastställa kvaliteten på den utförda gallringen. Högsta acceptabla skadenivå i contortabestånd efter gallring var 5% skadade träd. Uttagsstyrkan får inte överstiga 40% av grundytan. Stickvägsbredden skulle max vara 4,2 meter i lätt terräng samt 4,5 meter i svår terräng. Stickvägsavstånden skulle ligga mellan 25-30 m.

2.7.1 Inmätning av skördad biomassa

Efter skörd mättes volymen för respektive parcell och lass när lassen låg i vält vid bilväg. Alla drivarens lass vägdes var för sig med en grotlastbils kranvåg i samband med inkörning av skogsbränslet till terminal. Detta skedde en dag efter att tidsstudien avslutats. För att vara säker på att erhålla tillförlitliga lassvikter kalibrerades lastbilens kranvåg innan invägning, detta gjordes genom kontrollvägning av skogsbränsle från bestånden som ej ingick i parcellerna på bilväg vid virkesterrängen, utifrån detta justerades kranvågen på grotlastbilen. Fukthalt mättes för att kunna räkna fram mängden TS, dessa prover togs från parcellstremarna, det vill säga den parcell med grövst medeldiameter (Parcell 10), den med klenast medeldiameter (Parcell 6) samt en parcell som hade en medeldiameter någonstans i mitt emellan den grövsta och den klenaste parcellen (Parcell 4) (Tabell 3). Prover togs ifrån rotstock, mitt på stam med grenvarv samt från toppen av trädet med ett grenvarv. Proverna togs ifrån träd som representerade parcellens medeldiameter, samt trädslag. Dessa fukthaltsprover vägdes rå, sedan torkades proverna i torkskåp i ca 100°C tills konstant vikt uppnåddes (efter cirka 45 timmar). Skillnaden i vikt mellan rå och torr trissa gav trädens fukthalt i rått tillstånd.; fukthalt = $((\text{Råvikt}-\text{Torrsvikt})/\text{Råvikt})\times 100$ (%).

I tabell 6 förklaras några av de mått som används vid presentation av data i resultat och diskussionen.

Tabell 6. Olika mått som används i studien, dess innebörd och omvandling mellan olika mått.
Table 6. Different measures that was used in the study, explanation of its meaning and conversion between the different measures

Mått	Förklaring
Råton	Vikt på skogsbränsle i rått tillstånd (inklusive fukt)
tonTS	Vikt på skogsbränsle som är helt torrt (utan fukt)
MWh	Effektivt energiinnehåll i skogsbränsle som är möjligt att utvinna vid eldning
m³fub	Stamvolym under bark ($1 \text{ tonTS} \sim 1 \text{ m}^3\text{fub} * 0,45$)

2.8 Ekonomi

2.8.1 Maskinkostnad

Resultatberäkningarna är baserade på effektiv arbetstid G_0 -timme. Timkostnaden för maskinen baserades på SCA Skogs erfarenhetsmässiga siffror för drivaren; 835 SEK/ G_0 -timme (Arvidsson pers. komm. 2010).

2.8.2 Intäkter

I beräkningarna av intäkterna användes för skogsbränslet ett värde på 80 kr/MWh i vält vid bilväg (Arvidsson pers. komm. 2010).

Det effektiva värmevärdet för skogsbränslet i rått tillstånd (W_{eff}) beräknades med följande formel:

$$W_{\text{eff}} = 19,2 - 2,45 \times (F_h / (100 - F_h)) \text{ (MJ/kgTS)}$$

Där 19,2 är det effektiva värmevärdet per torr substans för ett ”typiskt” skogsbränsle, 2,45 är en konstant som anger mängden energi som åtgår till att förångna vatten och F_h anger fukthalten på bränslet i procent av rå vikt (Ringman 1996). För omräkning till MWh/tonTS divideras W_{eff} med 3,6. För bränslet i studien beräknades det effektiva värmevärdet ut till 4,6 MWh/tonTS vid en fukthalt på 50%. I beräkningarna för skogsbränslets energiinnehåll och ekonomi i resultat och diskussion användes en generell fukthalt på 50 %, detta för att eliminera en variation i fukthalt mellan parcellerna.

2.9 Statistik

Regressionsanalyser, korrelationstester och differenstagningar (t-test) utfördes i statistikprogrammet MiniTab, skillnader ansågs signifikanta vid en nivå av 5%.

3 Resultat

3.1 Gallringsdata

I medeltal avverkades 2135 stammar/ha vilket motsvarade en grundyta på 7,6 m²/ha. I medeltal skördades 26,2 ton TS/ha vilket motsvarade en gallringsstyrka på 41% av den totala biomassan på 64,1 ton TS/ha (Tabell 7). Av den skördade biomassan stod contortan för 52%, men enbart 31% räknat på stamantalet (Tabell 7).

I medeltal, för hela trädet, hade contorta en fukthalt av 60%, svensk tall 59% och björk 45%. Fukthalten på enbart grenar och toppar var för contorta 64%, svensk tall 62% och för björk 46% och motsvarande fukthalter på stamveden var 57%, 54% och 44%.

Tabell 7. Data på skördad biomassa för respektive parceller/studieytor
 Table 7. Data on harvested biomass per study units

		Parcell nr.										Medel	max	min	sd
Uttag		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Trädslags- fördelning % av Stamantal Inom parantes: % av biomassa	Stam/ha	1435	1176	1424	2264	2029	2650	2427	4234	1152	2560	2135	4234	1152	934
	Dbh (cm)	6,3	7,5	6,9	6,3	8,5	5,8	5,9	5,3	7,9	8,7	6,9	8,7	5,3	1,2
	Höjd (dm)	75,8	81,5	77,5	74,5	87,0	72,6	72,2	73,3	84,3	87,8	79,0	87,8	72,2	6,0
	Grundyta (m²)	3,8	5,4	5,2	7,2	10,7	4,9	8,3	10,7	6,2	13,9	7,6	13,9	3,8	3,2
	Contorta	32 (33)	39 (44)	70 (94)	51 (92)	12 (11)	11 (30)	33 (78)	3 (4)	44 (76)	15 (38)	31 (52)	70 (94)	3 (4)	21 (33)
	Svensk Tall	44 (60)	24 (28)	12 (2)	42 (7)	75 (62)	59 (42)	45 (6)	3 (1)	54 (20)	64 (60)	42 (29)	75 (62)	3 (1)	23 (25)
	Gran	3 (1)	9 (3)	8 (3)	0 (0)	2 (2)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	3 (1)	9 (3)	0 (0)	4 (1)
	Björk	22 (6)	27 (2)	10 (1)	6 (1)	10 (25)	30 (28)	22 (16)	94 (95)	2 (5)	2 (2)	24 (18)	94 (95)	2 (1)	26 (29)
	Volym (m³fub/ha)	20,1	33,9	34,5	46,3	57,6	24,0	42,2	48,2	39,3	70,0	41,6	70,0	20,1	15,0
	Medelstam (m³fub)	0,014	0,029	0,024	0,020	0,028	0,009	0,018	0,011	0,034	0,027	0,022	0,034	0,009	0,008
Biomassa (tonTS/ha)	19,8	22,1	27,1	30,7	28,8	11,9	24,8	33,3	27,3	36,0	26,2	36,0	11,9	7,0	

3.2 Kvalitet

I medeltal stod det 1647 stammar/ha kvar i det gallrade beståndet (Tabell 9), vilket motsvarade en förbandslängd på 2,45 meter. Gallringstyrkan var 41,1% av den totala grundytan (Tabell 8). Stickvägsytan utgjorde i medeltal 20% av den totala arean (Tabell 8). Stickvägsbredden var i medeltal 4,3 m och stickvägsbredden i parcell 1 (4,6 m) blev bredare jämfört med stickvägsbredderna i övriga parceller vilket beror på att den hade en brantare lutning och maskinen fick köra på skrå (Tabell 8). I parcell 8 skapades det inte någon stickväg på grund av låg bärighet i parcellen, vid beståndsavverkningen arbetade drivaren från utsidan av parcellen och arbetade med kranen inne i parcellen (Tabell 8). Både beståndets medelhöjd och medeldiameter och andel contorta ökade efter gallringen (Tabell 9).

Tabell 8. Sammanställning av arbetets kvalitetsaspekter för varje parcell

Table 8. *Quality properties on the remaining study units*

Parcell nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Medel	Max	Min	sd
Stickvägsbredd (m)	4,6	4,2	4,1	4,3	4,4	4,4	4,3	-	4,0	4,0	4,3	4,6	4,0	0,2
Stickvägsavstånd (m)	20,4	20,9	20,9	21,1	21,0	22,0	21,0	-	20,4	21,7	21,1	22,0	20,4	0,5
Stickvägsandel (%)	23	20	20	20	21	20	20	-	20	18	20	23	18	1,3
Stamskador > 15 cm ² (% av kvarvarande stammar)	3	3	0	0	0	4	0	4	0	6	2	6	0	2,2
Stamskador < 15 cm ² (% av kvarvarande stammar)	8	3	3	8	0	0	8	0	0	3	3	8	0	3,5
Uttagsstyrka (% av stamantalet)	46	45	49	56	58	58	59	68	41	62	54	68	41	8,6
Uttagsstyrka (% av grundyta)	24	31	36	35	55	49	47	62	28	45	41	62	24	12
Förbandslängd (m)	2,4	2,6	2,6	2,4	2,6	2,3	2,4	2,2	2,5	2,5	2,45	2,6	2,2	0,1

Tabell 9. Parcellernas karaktäristik efter gallring
 Table 9. Stand characteristics after thinning

		Parcell nr.										Medel	max	min	sd
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
	Stam/ha	1678	1461	1507	1802	1451	1929	1712	1984	1632	1579	1674	1984	1451	186
	Dbh (cm)	9,3	9,7	8,1	9,2	7,8	5,0	7,1	5,4	10,9	10,6	8,3	10,9	5,0	2,0
	Höjd (dm)	93,4	92,2	80,9	90,8	82,8	66,0	79,3	73,0	96,7	92,1	84,7	96,7	66,0	10,0
	Grundyta (m²)	11,9	12,0	9,5	13,2	8,6	5,1	9,2	6,5	15,8	17,3	10,9	17,3	5,1	3,9
Trädslags- fördelning % av stamantal	Contorta	78 (85)	94 (98)	70 (91)	80 (92)	28 (45)	18 (45)	16 (10)	0 (0)	54 (59)	31 (34)	47 (56)	94 (99)	0 (0)	32 (36)
	Svensk Tall	19 (14)	3 (1)	6 (3)	20 (8)	69 (55)	53 (35)	74 (88)	0 (0)	43 (41)	56 (64)	34 (31)	74 (88)	0 (0)	28 (31)
Inom parantes: % av biomassa	Gran	0 (0)	0 (0)	9 (3)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	12 (1)	0 (0)	6 (1)	3 (0)	12 (3)	0 (0)	5 (1)
	Björk	3 (1)	3 (1)	15 (1)	0 (0)	3 (0)	29 (19)	11 (2)	88 (99)	3 (0)	7 (1)	16 (12)	88 (99)	0 (0)	27 (31)
	Volym (m³fub/ha)	79,6	84,5	64,9	90,3	50,8	28,0	49,2	31,7	99,5	105,1	68,4	105,1	28,0	27,6
	Medelstam (m³fub)	0,047	0,058	0,043	0,050	0,035	0,014	0,029	0,016	0,061	0,067	0,042	0,067	0,014	0,018
	Biomassa (tonTS/ha)	42,9	44,7	34,7	48,2	28,7	16,2	30,0	22,1	55,5	62,9	38,6	62,9	16,2	14,9

3.3 Tidstudieresultat

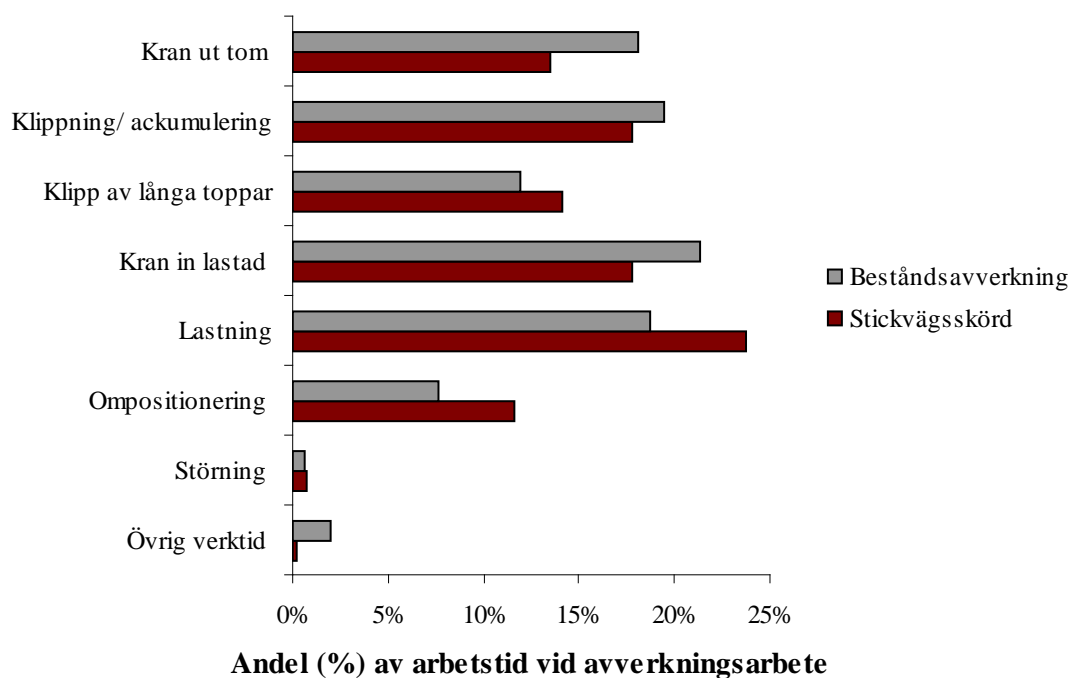
Totalt tidsstuderades drivaren under 15,03 timmar där sammanlagt 63,33 ton skogsbränsle (rått tillstånd) blev avverkat. Av denna totaltid utgjorde avbrottsid 0,2 %.

Från här och vidare anges nu tiden som produktiv arbetstid (G_0), dvs. utan avbrott. Den totala tidsåtgången för att skörda 1 tonTS vid stickvägsupptagning var i snitt 24,52 min och vid beståndsavverkning tag det i snitt 31,98 min att skörda ett tonTS (Tabell 10). Vid stickvägsskörd var det arbetsmoment som upptog mest andel tid per tonTS ”lastning”, det arbetsmoment som upptog störst andel tid vid beståndsavverkning var ”kran in lastad” (Tabell 10 & Fig. 5).

Tabell 10. Tidsåtgång per skördad biomassa (min/tonTS) för de olika arbetsmomenten vid avverkningsarbetet

Table 10. Time consumption (min/oven-dry ton) for the different work elements at the harvesting work

Arbetsmoment	Skörd av stickväg (min/tonTS)				Skörd mellan stickvägar/beståndsavverkning (min/tonTS)			
	Medel	Max	Min	SD	Medel	Max	Min	SD
Kran ut tom	3,40	6,90	1,66	1,42	5,88	10,09	3,28	2,07
Kran in lastad	4,35	7,47	3,13	1,24	6,83	9,71	5,04	1,55
Klippning/ackumulering	4,50	10,06	2,49	2,16	6,33	13,12	3,43	2,93
Klipp av långa toppar	3,28	4,44	2,30	0,64	3,69	4,92	2,78	0,69
Lastning	5,71	8,05	4,11	1,23	5,95	8,07	4,21	1,31
Ompositionering	2,96	7,76	0,00	1,91	2,42	3,28	1,20	0,75
Körning	0,10	0,30	0,00	0,12	0,04	0,30	0,00	0,10
Störning	0,16	0,47	0,00	0,17	0,19	0,35	0,06	0,09
Övrig verktid	0,04	0,15	0,00	0,06	0,61	1,03	0,26	0,25
Avbrott	0,02	0,15	0,00	0,05	0,03	0,29	0,00	0,09
Summa	24,52	45,73	13,69	9,00	31,98	51,17	20,25	9,82



Figur 5. Relativ tidsfördelning av den totala produktiva arbetstiden mellan de olika arbetsmomenten vid avverkningsarbetet

Figure 5. Relative time consumption of the total productive work time between the different work elements in the harvest work

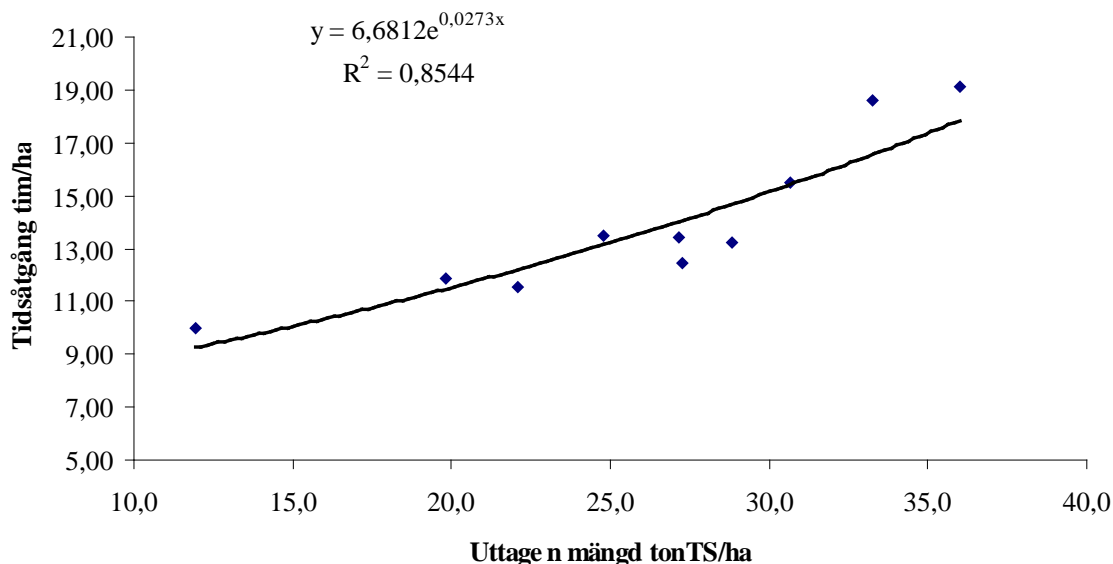
Korrelationstester mellan bestånds faktorer och arbetsmoment vid avverkningsarbetet, påvisades att medelstammens storlek vid uttaget, antal avverkade stammar/ha samt uttagets medelhöjd påverkade signifikant (p -värde $\leq 0,05$) tidsåtgången för vissa arbetsmoment vid avverkningsarbetet (Tabell 11).

Tabell 11. Resultat från korrelationstest (p -värde) mellan bestånds faktorer och tidsåtgång (min/tonTS) för arbetsmoment vid avverkningsarbetet, där signifikant påverkan påvisas om p -värde $\leq 0,05$

Table 11. Results from correlation test (p -value) between stand factors and time effort (min/ODt) for work elements at harvesting work, significant influence if p -value $\leq 0,05$

Arbetsmoment	Uttagets medelstam (m ³ fub)	Antal avverkade (stammar/ha)	Uttagets medelhöjd (m)
Kran ut tom	0,14	0,71	0,28
Kran in lastad	0,01	0,13	0,89
Klippning / ackumulering	0,00	0,01	0,16
Klipp av långa toppar	0,00	0,20	0,02
Lastning	0,00	0,02	0,17
Ompositionering	0,41	0,10	0,54
Körning	0,18	0,00	0,27

Den totala tidsåtgången per hektar var i medel 13,9 G₀-timmar, och då avverkades det i snitt 26,2 tonTS/ha, givet att skotningsavståndet var 100 meter. Figur 6 visar att det finns ett tydligt samband mellan den totala tidsåtgången per hektar och skördad mängd skogsbränsle per ha.



Figur 6. Tidsåtgång per hektar som funktion av den skördade mängden skogsbränsle per hektar vid 100 m skotningsavstånd

Figure 6. Time consumption per hectare as a function of the harvested amount of forest fuel per hectare at 100 m of forwarding distance

3.4 Terrängtransport

Terrängkörningshastigheten med lass och utan lass (framkörning tom) skilde sig inte och var i medeltal cirka 0,8 m/s (Tabell 12). En uppmätt lossning stack ut markant från de andra lossningstiderna; den längre tidsåtgången vid denna lossning för parcell 6 vilket berodde på stor andel små stammar som krävde mer tillrättaläggning på avlägget.

Tabell 12. Skotningsarbetets tidsåtgång inklusive framkörning tom, terrängkörning med lass samt lossning

Table 12. Time consumption for driving unloaded, driving with load and unloading

	Medel	Max	Min	SD
Terrängkörning med lass (m/s)	0,77	1,15	0,62	0,16
Framkörning tom (m/s)	0,78	0,94	0,61	0,09
Lossning (min/tonTS)	2,50	4,05	1,80	0,63

Enbart i parcell 10 och vid beståndsskörd erhöll maskinen ett fullt skotarlass och detta lass vägde 5600 kg i rått tillstånd, hade en volym vid välta på 22,9 m³ och erhöll en densitet i

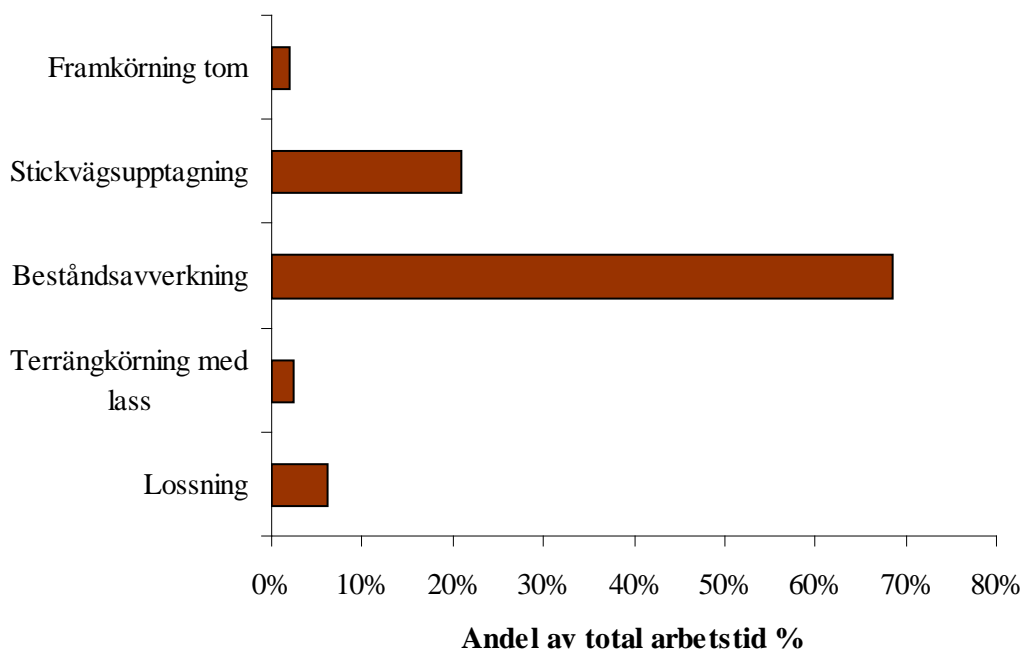
välta på 414 kg/m³ (Tabell 13). Omräknat till tonTS vägde det fulla lasset 2,8 tonTS (50 % fukthalt).

Variationerna i vältornas vikter (Tabell 13) beror på antal uttagna stammar samt stammarnas medelstorlek. Variationerna i vältornas volym beror att mängden uttagen skogsbränsle varierar kraftigt mellan parcellerna, vältornas volymer är uppmätta liggandes vid bilväg, detta påverkar volymen då det blir mer luft mellan stammarna, samma mängd skogsbränsle på maskinen är mer komprimerad. Skillnaderna på vältornas densitet (Tabell 13) beror på att trädslagsammansättningen skapar en variation på vältdensiteten. De vältor med hög andel svensk tall och björk har en högre vältdensitet jämfört med vältor med hög andel contorta.

Tabell 13. Skotarlassens vikter (rå) och volymer och densitet på vältorna i medeltal
Table 13. Weights (fresh) of harwarder loads and volumes and densities of the piled biomass at road side in average values

	Medel	Max	Min	SD
Lassvikt, beståndsavverkning (kg)	4469	7020	2110	1343
Lassvikt, stickvägsupptagning (kg)	2071	3170	920	643
Volym på välta (m ³)	18	25	9	5
Vältornas densitet råvikt (kg/m ³)	258	414	197	54
Vältornas densitet torrsvikt (kg/m ³)	107	171	79	22

Vid ett skotningsavstånd på 100 meter stod beståndsavverkningen för 68% av den totala produktiva arbetstiden, medan stickvägsupptagning stod för 21% av tiden (Fig. 7).



Figur 7. Relativ tidfördelning mellan de olika huvudarbetsmomenten vid 100 meters skotningsavstånd.

Figure 7. Relative distribution of time consumption for the different work elements for the harwarder at 100 m of forwarding distance.

3.5 Bränsleförbrukning

Genomsnittligt förbrukades 11,63 liter bränsle i timmen blandad körning. Maskinen hade då både avverkat, skotat och hjulat på skogsbilväg mellan olika avverkningsobjekt.

3.6 Produktivitet

Vid utförda regressionsanalyser för att se vilka egenskaper som påverkar produktiviteten (tonTS/G₀-timme, avverkning + skotningsarbete vid 100 meters skotningsavstånd), syntes enbart signifikant påverkan (p-värde ≤ 0,05) av:

- Medelstammens volym före avverkning (p-värde 0,033)
Regressionsfunktion: prod. = 1,53 + 18,0 medelstam före avverkning
- Medelstammens volym vid uttaget (p-värde 0,004)
Regressionsfunktion: prod. = 1,37 + 33,7 medelstam vid uttaget

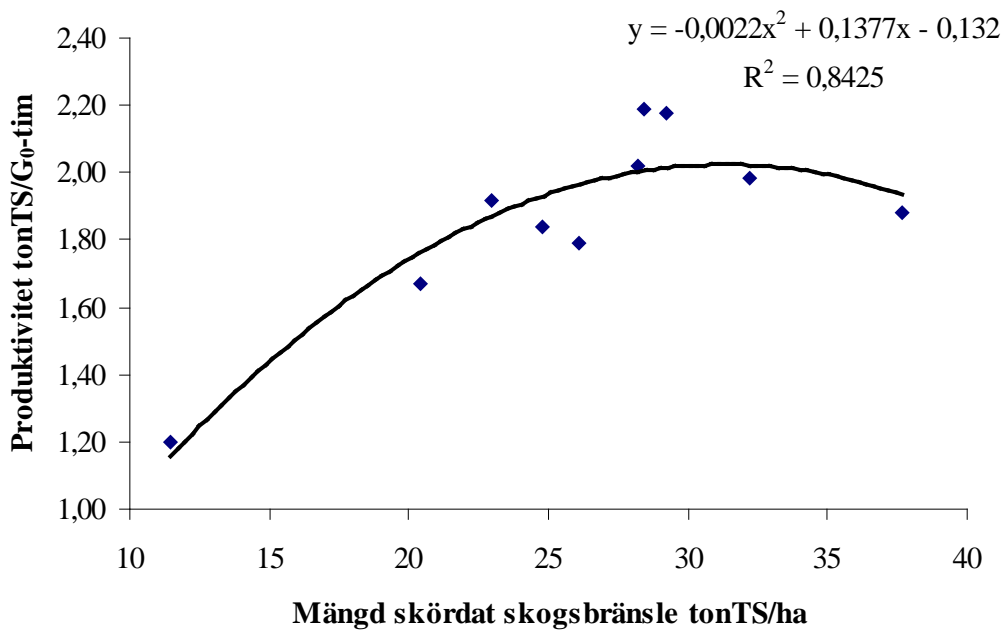
Det har ej gått att påvisa att produktiviteten (tonTS/h) signifikant påverkas av andelen avverkad contorta (p-värde 0,302). Produktiviteten för hela arbetet, dvs. inklusive stickvägsupptagning, beståndsavverkning, framkörning tom, terrängkörning med lass samt lossning, var i medeltal 1,87 tonTS/G₀-timme vid 100 meters skotningsavstånd (Tabell 14).

Tabell 14. Produktivitet för avverkningsarbetet samt total produktivitet inklusive skotningsarbete (framkörning tom, terrängkörning med lass samt lossning)

Table 14. The productivity for the harvest work and total productivity including forwarding operations (driving unloaded, driving with load and unloading)

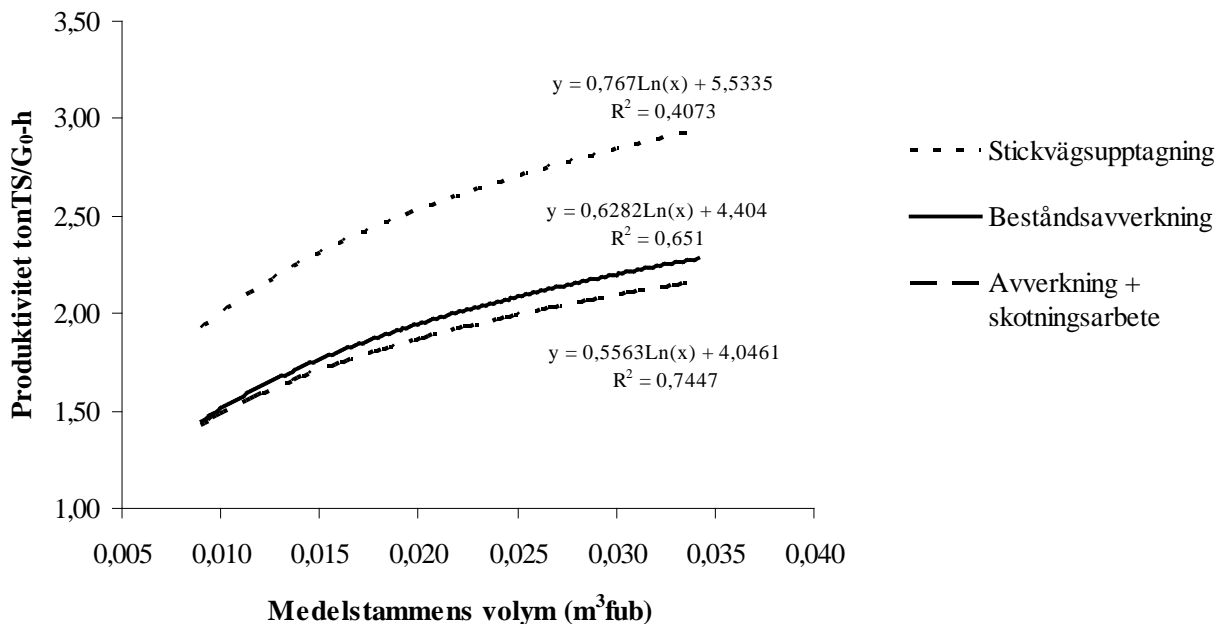
	Medel	Max	Min	SD
Beståndsavverkning (tonTS/G ₀ -tim)	1,94	2,43	1,25	0,345
Stickvägsupptagning (tonTS/G ₀ -tim)	2,58	3,14	1,39	0,506
Samtliga avverkningsarbeten + skotningsarbete (100 m skotningsavstånd) (tonTS/G ₀ -tim)	1,87	2,19	1,20	0,285

Variationerna i produktiviteten (Tabell 14) beror på tämligen stor variation mellan medelstammens volym parcellerna emellan. En högre volym i medelstammen resulterade i en ökning i produktiviteten. Vid korrelationstest mellan produktiviteten (tonTS/G₀-timme) och mängd uttaget skogsbränsle syntes en signifikant korrelation (p-värde 0,012), vid analys av detta syntes att produktiviteten steg med ökad mängd uttaget skogsbränsle, men ökade mängden skogsbränsle över 69 råton/ha sjönk produktiviteten igen (Fig. 8).



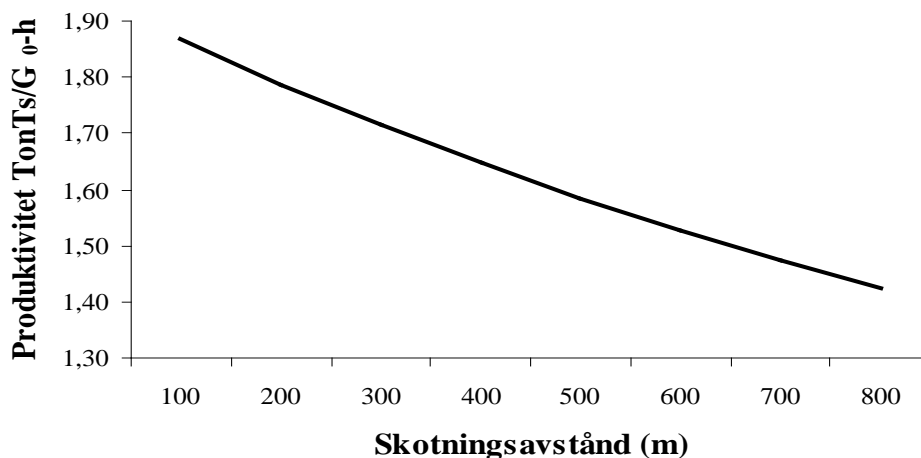
Figur 8. Produktiviteten för hela arbetet som funktion av avverkad mängd skogsbränsle per hektar.
Figure 8. Productivity of the whole work as a function of the harvested amount of forest fuel per hectare.

Produktiviteten för stickvägsupptagning var signifikant högre (p-värde 0,002) än beståndsavverkningen (Fig. 9).



Figur 9. Produktiviteten på beståndsavverkning, stickvägsupptagning samt det totala arbetet som funktion av avverkad medelstamvolym vid 100 m skotningsavstånd.
Figure 9. Productivity of in stand harvesting, harvesting strip roads and total work as a function of the average harvested tree volume at 100 m of forwarding distance.

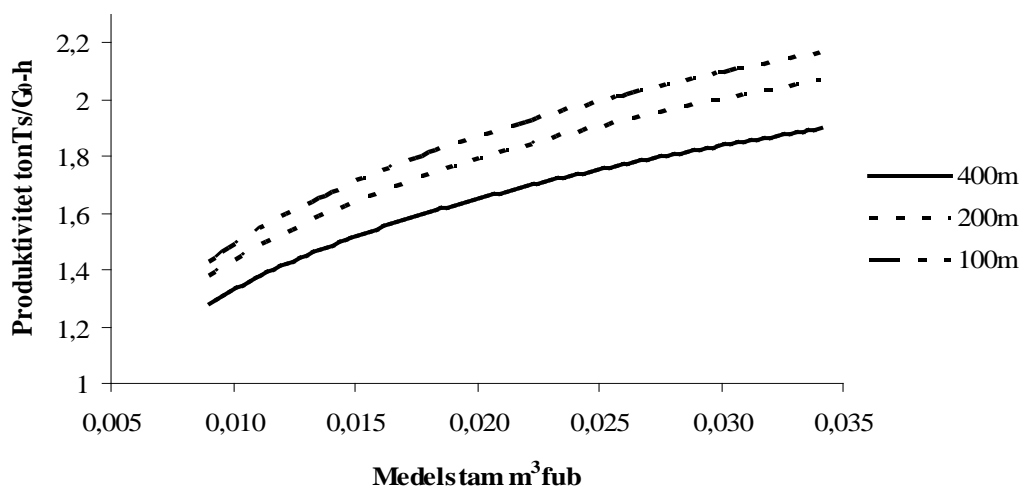
Om skotningsavståndet ökade sjönk den totala produktiviteten med i snitt -0,06 tonTS/G₀-timme för varje 100 meters ökning av skotningsavståndet (Fig. 10).



Figur 10. Produktiviteten för hela arbetet i medeltal för alla parceller som funktion av skotningsavståndet

Figure 10. The productivity of the whole work of all study units as a function of the forwarding distance

Produktiviteten (tonTS/G₀-timme) är starkt beroende av medelvolymen (m³fub) på de avverkade träden, vid en medelstam på 0,009 m³fub och 100 meters skotningsavstånd var produktiviteten 1,2 tonTS/G₀-timme, vid en medelstam på 0,034 m³fub och 100 meters skotningsavstånd var produktiviteten 2,19 tonTS/G₀-timme (Fig. 11). I medeltal avverkade drivaren 153 stammar/G₀-timme och varierade mellan 92-266 stammar/G₀-timme (sd=56,7).



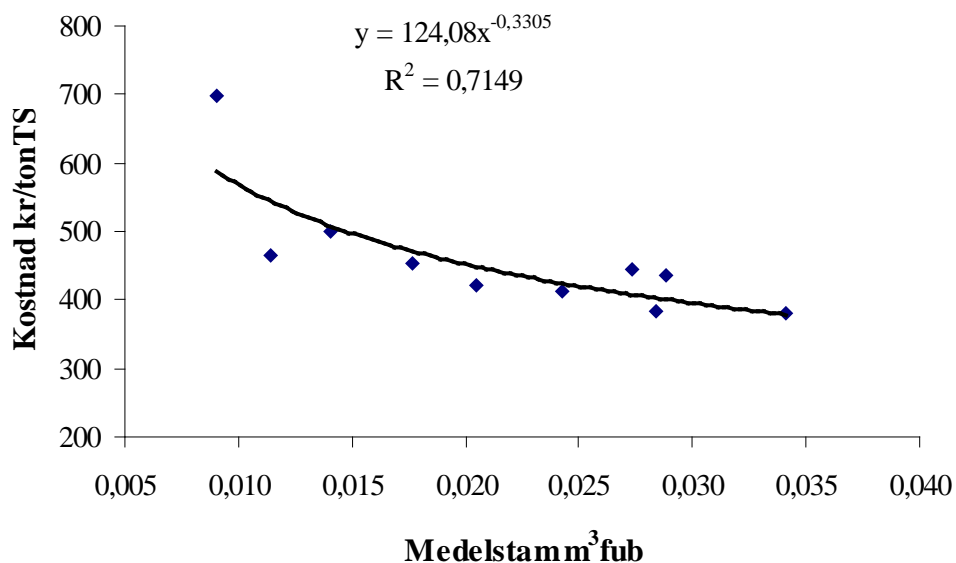
Figur 11. Produktiviteten tonTS/G₀-timme för hela arbetet som funktion av uttagets medelstam vid skotningsavstånd av 100m, 200m och 400m.

Figure 11. The productivity per productive hour of the whole work as a function of the average harvested stem volume at forwarding distances of 100m, 200m and 400m.

3.7 Ekonomi

3.7.1 Kostnader

Vid en timkostnad av 835 kr/G₀-timme och ett skotningsavstånd på 100 m var avverkningskostnaden i medeltal 460 kr/tonTS och varierade mellan 382 till 697 kr/tonTS (sd=91). Kostnaden var starkt korrelerad till den avverkade medelstammens storlek; med en högre medelstam i beståndet minskar kostnaden per tonTS (Fig. 12).

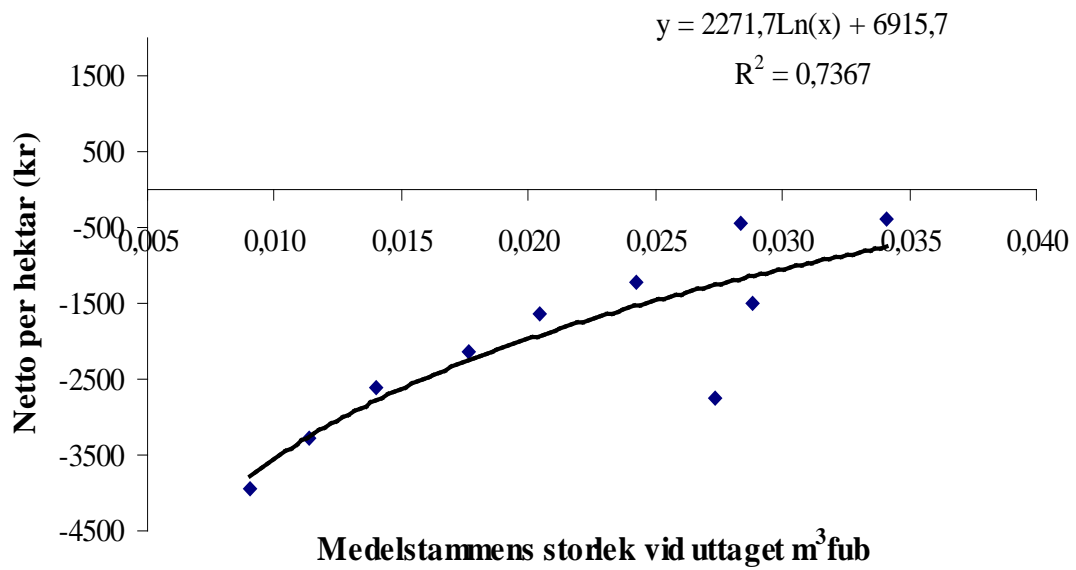


Figur 12. Avverkningskostnaden som funktion av medelstammen vid 100 m skotningsavstånd.
Figure 12. Harvesting costs as a function of average stem volume in the stands at a forwarding distance of 100 m.

Den totala kostnaden per hektar var i medeltal 11621 kr/ha och varierade från 8329 till 15989 kr/ha (sd=2491) och påverkas starkt av mängd avverkad skogsbränsle (tonTS) per hektar. T.ex. i parcell 10, som gav den högsta kostnaden, avverkades även störst mängd skogsbränsle och i parcell 6, som hade lägst totalkostnad per hektar, avverkades lägst mängd skogsbränsle jämfört med de andra parcellerna.

3.7.2 Intäkter

Intäkterna var i medeltal 687 kr/G₀-timme och varierade från 441 till 805 kr/G₀-timme (sd=105) mellan parcellerna. Intäkten per hektar vid 100 m skotningsavstånd var i medeltal 9636 kr och varierade från 4397 till 13252 kr (sd=2569). Nettointäkten per hektar påverkas mycket av medelstammens storlek vid uttaget (Fig.13), men även avverkad mängd skogsbränsle (tonTS/hektar) påverkar nettot.



Figur 13. Netto per hektar som en funktion av medelstammens storlek vid uttaget under förutsättning att skotningsavståndet är 100 meter, timkostnaden är 835 kr/G₀-timme och priset/MWh är 80 kr fritt bilväg (W_{eff} är 4,6 MWh/tonTS)

Figure 13. Net income SEK/hectare as a function of mean stem volume, when the forwarding distance is 100 meters and the hourly cost is 835 SEK per productive work hour and the price/MWh is 80 SEK at road side (based on a net calorific value of 4,60 MWh/ODt)

4 Diskussion

4.1 Material och metoder

Studiens syfte var att mäta en drivares produktivitet vid uttag av skogsbränsle i klena förstagallringsbestånd. Tanken med att utföra försök i parceller med så pass klen medelstam var ett försök för att kunna se maskinsystemets begränsningar i bestånd med klen medelstam ur en ekonomisk synvinkel. Vid valet av försökslokal var målet att skapa en variation av beståndsfaktorer såsom stamtäthet, storlek på medelstam samt andel contorta. Vissa av parcellerna hade en medelstam som var i klenaste laget för att få kallas klen förstagallring, dessa parceller skulle nog snarare klassas som röjningsbestånd. Målet får anses ha uppfyllts, eftersom i parcellerna emellan varierade stamtätheten mellan 2637 stammar/ha till 6218 stammar/ha, medelstammens storlek varierade mellan 0,01 till 0,05 m³fub samt andel contorta biomassa i parcellerna varierade mellan 2% till 94%.

Parcellernas storlek utformades så att maskinen skulle kunna utföra cirka en timmes produktivt arbete, detta uppnåddes med ”råge” då det i snitt gick åt ca 1,5 timmar per parcell inklusive avverkningsarbete och skotningsarbete. Det kanske hade varit bättre att skapa något kortare parceller, med tanke på tidsåtgången och istället ökat antalet parceller för att erhålla fler upprepningar av försöken och på så sätt erhålla starkare statistiskt säkerställda data.

I skrivandes stund finns inte några publicerade biomassafunktioner (hela trädet) för contorta i Sverige vilket medförde att funktioner från Island användes för beräkningar. Det är troligt att den svenska contortan skiljer sig i bl.a. biomassamängd och densitet från den isländska contortan vilket kan ha påverkat beräknade mängder. I studien beräknades och vägdes den skördade biomassan per parcell. Biomassafunktionerna både underskattade och överskattade mängden skördad biomassa jämfört med resultatet från inmätningen av den faktiskt skördade biomassan. Men i medeltal gav metoderna tämligen lika värden; vägning gav ett medel på 26,2 tonTS/ha och funktionerna gav 25,5 tonTS/ha. Alla beräkningar som ligger till grund för resultatberäkningar baserades på data erhållen från inmätningen av det faktiskt skördade materialet.

Frekvensstudien fungerade bra och de indelade arbetsmomenten stämde väl överens med drivarens arbetssätt, noteringarna var sjunde sekund var lätt att följa och datakvaliteten blev hög. En sak som hade förbättrat studien skulle vara ha att räknat antal träd som avverkades per krancykel samt tiden för varje krancykel, detta för att kunna beräkna tidsåtgången och kostnaden för att avverka ett enskilt träd.

4.2 Produktivitet

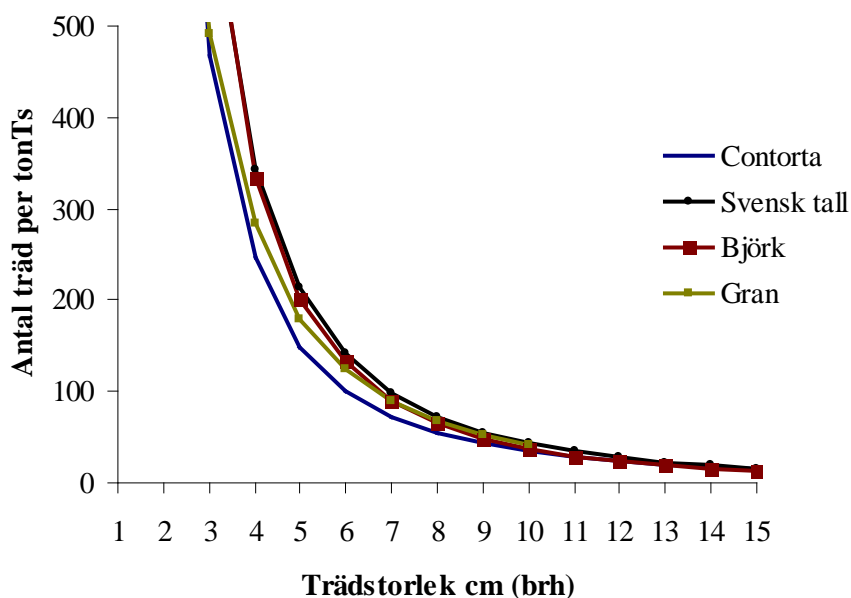
Produktiviteten (tonTS/G₀-timme) hade en stor spridning mellan parcellerna vilket framförallt påverkades av medelstammens storlek skiljde mellan parcellerna (Fig. 12). Medelproduktiviteten (över alla parcellerna) ger en bra indikation på maskinens (och förarens) medelproduktivitet över exempelvis ett år, förutsatt att maskinen till vardags arbetar i bestånd med stor spridning av medelstammens storlek.

Vid avverkningsarbetet skildes sig tidsfördelningen för arbetsmomenten mellan stickvägsupptagning och beståndsavverkning (Fig. 5). Detta beror på att vid

beståndsavverkningen blir mängden kranrörelser högre för att uppnå samma mängd skogsbränsle jämfört med stickvägsupptagningen som kan liknas vid en kalavverkning.

En intressant tendens som kom fram vid analysen var att produktiviteten (tonTS/G₀-timme) minskade om skördad mängd skogsbränsle per hektar översteg cirka 70 råton (Fig. 8). De två parceller (4 och 10) där uttaget var högre än 70 råton/ha var stamtäta (4066 och 4139 stam/ha) samt hade relativt hög medelhöjd (78,8 och 82,4 dm) jämfört med övriga parceller. Tendensen beror troligtvis på att de avverkade träden tar längre tid att lägga ner på grund av alla kvarstående stammar som är i vägen i dessa mer täta och höga bestånd.

Storleken på träden har stor betydelse för hur många stammar som behöver avverkas för att uppnå 1 tonTS (Fig.14). Exempelvis i ett contortabestånd där medeldiametern är 4 cm går det 246 stammar/tonTS och i ett bestånd med en medeldiameter på 10 cm behövs det 34 stammar för att uppnå 1 tonTS. Detta innebär att ju lägre medelstam det är i ett bestånd desto fler stammar behöver avverkas per timme för att upprätthålla en hög produktivitet (tonTS/G₀-timme)



Figur 14. Antal träd som behövs för att uppnå 1 tonTS vid olika medeldiametrar (hela träd inklusive grenar och barr).

Figure 14. Number trees of different sizes required for 1 ODt (whole trees including branches and needles).

4.3 Kvaliteten

Kvaliteten på avverkningen i försöken undersöktes på samma sätt som den vanliga gallringsuppföljningen som utförs vid SCA Skog, för att kunna jämföra drivaren i studien mot när gallringen utförs som konventionell gallring med skördare och skotare.

Kvaliteten på drivarens arbete i studien kan enligt de nämnda faktorerna ovan sägas vara tämligen bra; skadeandelen var i medel över alla parceller 2% skador som var större än 15 cm² (tabell 8) och det blev ingen spårbildning. Stickvägsbredden blev i snitt 4,3 m vilket är lite bredare än uppställda krav (Fig. 15), och stickvägsavståndet var i snitt 21,1 m, vilket är

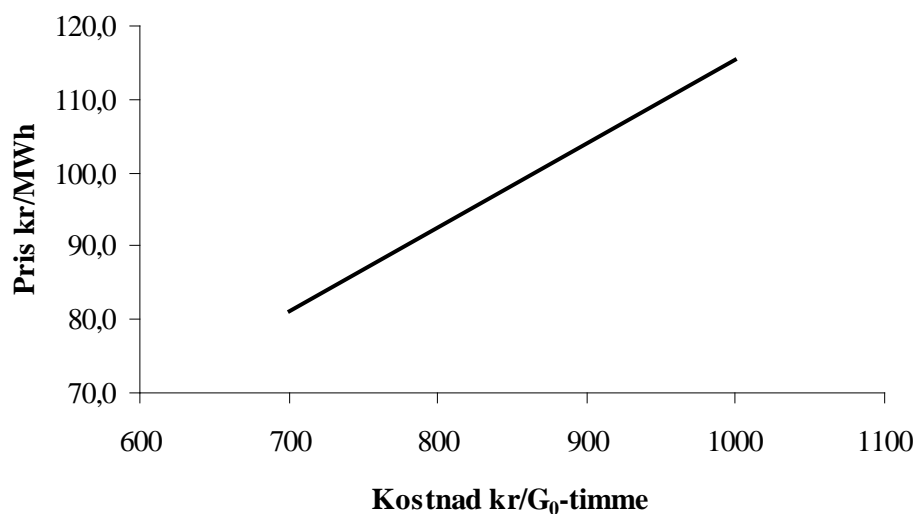
kortare än önskat stickvägsavstånd i SCA Skog gallringsinstruktion. I studien gjorde drivaren inte något slingerstråk mellan stickvägarna på grund av att drivaren blir något mer osmidig att slingra med jämfört med en skördare, då drivaren blir för lång med lastutrymmet. Uttagsstyrkan var i snitt 41% av grundytan, även det är lite över den normerade nivån, dock var många av parcellerna tämligen stamtäta och därför var uttagsstyrkan kraftigare i vissa av parcellerna för att uppfylla studiens gallringsinstruktion som var att förbandslängden efter avverkning skulle vara mellan 2,0-2,5 m. Enligt resultatet gallrades bestånden underifrån.



Figur 15. Stickväg i parcell 9
Figure 15. Strip road in parcel 9

4.4 Kostnader och intäkter

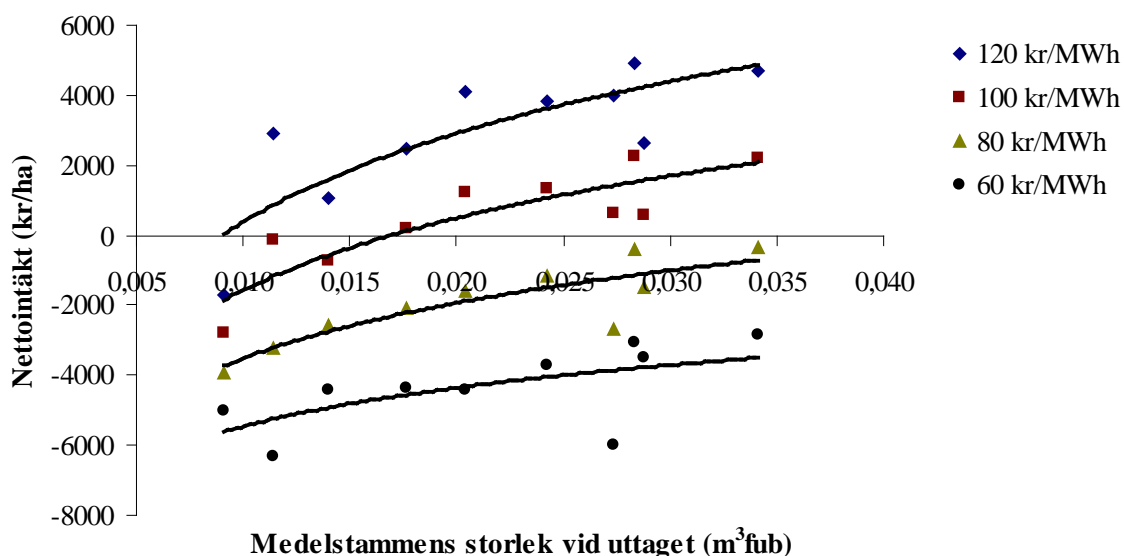
För att ha möjlighet att täcka avverkningskostnaderna vid en medelproduktivitet av 1,87 tonTS/G₀-timme och vid en timkostnad på 700 kr krävs det att priset per MWh är minst 81 kr. Om timkostnaden stiger till 1000 kr måste priset per MWh stiga till minst 116 kr för att täcka kostnaderna (Fig.16). Produktiviteten har stor betydelse för hur stor intäkten måste vara för att täcka kostnaderna: om timkostnaden är 800 kr och produktiviteten är 1,20 tonTS/G₀-timme krävs det att priset per MWh är minst 145,5 kr för att täcka kostnaderna. Vid samma timkostnad och om produktiviteten är 2,19 tonTS/G₀-timme behöver priset per MWh vara 79,6 kr för att täcka kostnaderna.



Figur 16. Minimum pris (kr/MWh) på skogsbränslet vid bilväg för möjligheten att täcka arbetskostnaden per timme (produktivitet 1,87 tonTS/G₀-timme, 100 meter skotningsavstånd, W_{eff} är 4,6 MWh/tonTS)

Figure 16. The minimum price (SEK/MWh) on the forestfuel at roadside for possibility to cover the cost per hour (productivity of 1,87ODt per productive work hour, 100 meter forwarding distance and a net calorific value of 4,6 MWh/ODt.

Nettointäkten är starkt beroende av priset per MWh. I figur 17 kan man se hur nettointäkten förändras med olika priser per MWh (vid konstant timkostnad för avverkningen). Om priset per MWh är 60 kr i välta vid bilväg, så blir det tämligen kraftigt negativa netton för samtliga parceller. Ökar priset per MWh till 100 kr i välta vid bilväg så blir det positivt netto redan när medelstammen i uttaget är 0,016 m³fub.



Figur 17. Påverkan på nettointäkten kr/hektar som en funktion av uttagets medelstam (m^3fub) och att skogsbränslepriset (kr/MWh fritt bilväg) varierar (100 meter skotningsavstånd, timkostnaden 835 kr/ G_0 -timme, W_{eff} är 4,6 MWh/tonTS)

Figure 17. The net income (SEK/hectare) as a function of mean stem volume and the wood fuel price (SEK/MWh) at road side vary, (100 meter forwarding distance, and the hourly cost is 835 SEK/ G_0 -h, net calorific value of 4,6 MWh/ODt)

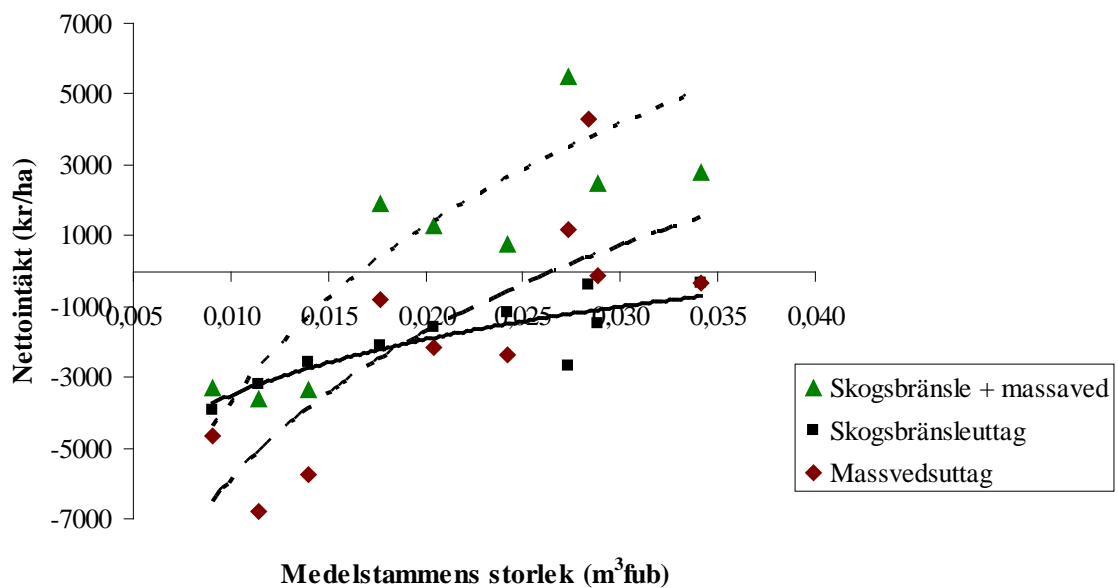
Skogsbränslet i studien bestod av träddelar från hela trädet. Stamveden under bark stod för i snitt 69 % av den totala biomassan och toppar, grenar, bark och barr stod för resterande 31 % av den totala biomassan. Som omräkningstal mellan m^3fub och tonTS användes 0,45 (1 ton TS = $1 \text{ m}^3\text{fub} \times 0,45$) (Anon 1994). I snitt avverkades det 26,2 tonTS/hektar.

Mängden avverkad biomassa som kom från stamved var i snitt 18,1 tonTS och omräknat till m^3fub blir det 40,2 m^3fub /hektar. Den genomsnittliga produktiviteten per m^3fub blir då $(1,87 \text{ tonTS}/G_0\text{-timme}/0,45) = 4,16 \text{ m}^3\text{fub}/G_0\text{-timme}$ när skotningsavståndet är 100 meter.

Skulle man enbart ta ut massaved fanns det teoretiskt i snitt 40,2 m^3fub /hektar att avverka, men i dagsläget avverkar man enbart stammar som har en medeldiameter på minst 8 cm vid konventionell gallring. Många av stammarna i bestånden från försöket var klenare än 8 cm i brösthöjd. Den verkliga mängden massaved som går att avverka var i snitt 33 m^3fub /hektar och omräknat till tonTS blir det 14,9 tonTS/hektar, vilket betyder att det går att ta ut 43% mer biomassa om man istället tar ut helträd.

Nedan jämförs hur nettointäkten (kr/ha) teoretiskt skulle kunna förändras om man enbart skulle ta ut skogsbränsle eller enbart ta ut massaved samt kombinerat uttag av både massaved och skogsbränsle. Förutsättningarna är att det förutsätts att produktiviteten tonTS/ G_0 -timme är densamma för både skogsbränsleskörd och massavedsskörd samt att den enda parametern som skiljer är värdet på råvaran. Under de givna förutsättningarna i figur 18 blir det lönsammare att enbart ta ut massaved (stammar > 8 cm dbh) och lämna övrigt skördat skogsbränsle kvar i skogen, redan när medelstammen är på 0,02 m^3fub . Detta förändras tämligen radikalt om priset/MWh höjs. Om intäkten för massaved är 300 kr/ m^3fub blir nettointäkten vid massavedsuttag i snitt på -1753 kr/ha. Vid ett pris på 80

kr/MWh och W_{eff} är 4,6 MWh/tonTS blir nettointäkten i snitt -1945 kr/ha vid skogsbränsleuttag. Om priset/MWh höjs till 100 kr och W_{eff} är 4,6 MWh/tonTS blir nettointäkten vid skogsbränsleuttag + 474 kr/ha. Detta innebär att om priset för skogsbränsle är lågt kan ett uttag av massaved löna sig bättre ekonomiskt. Det mest ekonomiskt lönsamma är enligt figur 18 att göra ett kombinerat uttag av massaved och skogsbränsle, där man tar ut all möjlig massaved och sedan tar man grenar och toppar och klena träd (< 8 cm dbh) som skogsbränsle. Dessa siffror i figur 18 ska man inte ta som definitiv sanning då kostnaden per hektar är beräknad för rent skogsbränsleuttag, troligtvis blir produktiviteten lägre om man tar ut två sortiment istället för enbart skogsbränsle.



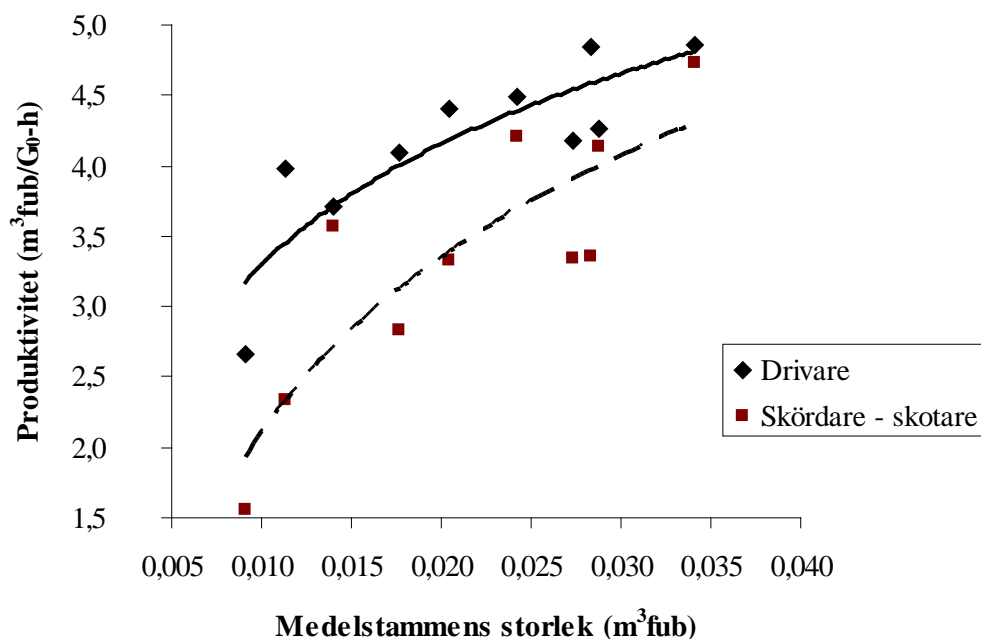
Figur 18. Jämförelse av nettointäkten mellan enbart uttag av skogsbränsle och enbart uttag av massaved (stammar ≥ 8 cm brh.) samt kombinerat uttag av både skogsbränsle och massaved (massavedspris: 300 kr/m³fub, pris/MWh 80 kr och W_{eff} är 4,6 MWh/tonTS, 100 meter skotningsavstånd, maskinkostnad på 835 kr/G₀-h).

Figure 18. Comparison of net income between forest fuel harvest and pulp wood harvest (stems ≥ 8 cm dbh) and combined harvest of forest fuel and pulp wood (pulp wood price: 300 SEK/m³s, price/MWh 80 SEK and NCV is 4,6 MWh/ODt, machine cost at 835 SEK/G₀-h, 100 m forwarding distance).

4.5 Jämförelse med skördare – skotaresystem

I figur 19 jämförs drivarens produktivitet (m³fub/G₀-timme) med ett konventionellt tvåmaskinsystem, där en skördare och skotare utför samma typ av avverkning som drivaren i studien. Enligt figur 19 har drivaren generellt högre produktivitet jämfört med ett skördare- skotaresystem i de bestånd som avverkades i studien. Om skotningsavståndet ökar, får drivaren en relativ högre kostnad på grund av att drivaren är dyrare (kr/G₀-timme) vid skotningsarbetet jämfört med en konventionell skotare, givet att laststorleken inte skiljer sig åt mellan maskinerna. Skördaren och skotarens produktivitet är beräknad från Nurminens et al. (2006) artikel med produktionsfunktioner för skördare och skotare i gallring. Drivarens produktivitet är omräknad från tonTS/G₀-timme till m³fub/G₀-timme. I Kärhä (2006) studie jämförs ett drivaresystem med ett skördare-skotare system i helträdsavverkning där det visade sig att drivaren i bestånd där medelstammens vid uttaget

är mindre än 0,02 m³fub och skotningsavståndet är mindre än 150 meter hade en högre produktivitet jämfört med skördare-skotare systemet. I bestånden som hade en medelstam vid uttaget över 0,02 m³fub hade skördare-skotare systemet en högre produktivitet (Kärhä 2006). Jämför man Kärhä (2006) studie med figur 19 där drivarens produktivitet (m³fub/G₀-timme) jämförs med ett skördare-skotare system som utför samma typ av avverkning som drivaren gör; ser man i denna studie att drivaren har högre produktivitet jämfört med skördare- skotare även när medelstammens storlek vid uttaget är högre än 0,02 m³fub.



Figur 19. Jämförelse av produktivitet (m³fub/G₀-timme) mellan drivaren och ett tvåmaskinsystem (skördare – skotare) som funktion av avverkad medelstam, vid 100 meters skotningsavstånd.
 Figure 19. Comparison of the productivity (m³solid under- bark per productive work hour) between the harwarder and a two-machine system (harvester-forwarder) as a function of average harvested tree volume at 100 meter forwarding distance.

4.6 Utveckling av metod/arbetsätt

Drivaren i studien, Valmet 801 combi har utvecklats från ett drivarkoncept som var byggt på en Valmets 838 C skotare. Denna utvecklades av Partek Forest AB som tillsammans med en finsk entreprenör vid namn Nisula satte ihop ett drivarkoncept med just 838 skotaren som basmaskin, där de monterade kran och hytt tillsammans på svängkran som standard. Maskinen utrustades med en kraftigare hydraulkapacitet, och de modifierade kranen för att passa drivarens arbetsätt.

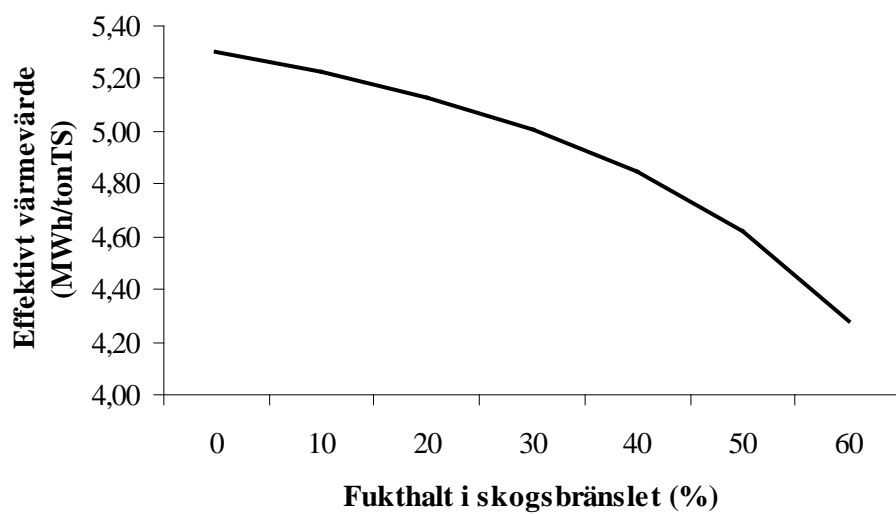
Arbetsmetoden som drivaren i studien utövar är utformat genom erfarenhet och arbetet håller enligt denna studie tämligen hög kvalitet. En sak som mättes under studien av maskinens arbete var att i bestånd som är höga och täta kan beståndsavverkningen bli bitvis tämligen tidskrävande. Genom att kranrörelserna inne i täta bestånd kräver mer försiktighet för att inte skada kvarvarande träd, särskilt under arbetsmomentet kran in lastad blir det påtagligt när de fällda träden ska läggas ner och föras in mot maskinen. Detta problem skulle eventuellt kunna minskas, om tillämpning av korridorsgallring

användes som arbetsteknik (jmf. Bergström 2009). Maskinen arbetar då med t.ex. vinkelräta kraninstick från stickvägen in i beståndet där man avverkar alla träd i den tänkta korridoren, på det sättet skulle det gå att kunna höja produktiviteten då kranrörelserna förenklas och hastigheten på kranrörelserna kan höjas.

Skotningsavståndet påverkar produktiviteten på drivaren mycket. Ett problem med avverkning av skogsbränsle är att densiteten i lassen kan bli tämligen låg på grund av spretiga grenar och toppar, detta kan speciellt sägas om contortan då den har mycket biomassa i grenar och barr jämfört med t.ex. tall och björk. I bestånd där det är långa skotningsavstånd och medelstammen är tämligen hög, skulle drivaren eventuellt kunna höja produktiviteten om knäckkvistning tillämpades (jmf. Iwarsson Wide 2009). Knäckkvistning är en metod där träden flerträdhanteras och knippena kvistas med slöade kvistknivar, vilket gör att fina kvistar och barr faller av medan grövre kvistar knäcks men blir kvar på stammen. I Iwarsson Wides (2009) studie utfördes knäckkvistning med ett skördaraggregat med matarvalsar och kvistningen genomfördes efter fällning. Fördelen med knäckkvistning som visades i Iwarsson Wides (2009) studie är att det blir kompaktare skotarllass jämfört med helträdsuttag, vilket gör att det går att lasta fler stammar per skotarllass, en annan fördel är att råvaran går att använda som massaved. Drivarens aggregat i studien hade inga matarvalsar eller kvistknivar, men det skulle eventuellt gå att "kvista" av träden innan fällning genom att montera kvistknivar på aggregatet och dra aggregatet uppifrån och ner på trädet och därefter fälla trädet. Vinsten skulle då precis som i Iwarsson Wides (2009) studie kunna vara att lassdensiteten ökar vilket leder till att antal skotarllass per hektar minskar, dock finns det en risk att produktiviteten (tonTS/G₀-timme) blir lägre om man tillämpar denna arbetsmetod. Blir knäckkvistningen väl genomförd skulle det eventuellt gå att välja om råvaran ska bli skogsbränsle eller massaved. Denna metod ska troligtvis tillämpas på träd med högre medelstam och i bestånd där stamantalet per hektar inte är så hög då den totala tidsåtgången per hektar annars blir för stor.

4.7 Råvaran

Ju högre fukthalten är i skogsbränslet desto lägre blir det effektiva värmevärdet i skogsbränslet. Vid 60% fukthalt är det effektiva värmevärdet 4,28 MWh/tonTS och vid 40 % fukthalt är det effektiva värmevärdet 4,85 MWh/tonTS (Fig. 20). Om skogsbränsle har 60% fukthalt och priset på skogsbränslet är 80 kr/MWh fritt bilväg, ger det en intäkt på 342 kr/tonTS. Om skogsbränslet har lagrats ett tag och fukthalten har sjunkit till 40% blir motsvarande intäkt istället cirka 13% högre (388 kr/tonTS). Detta betyder att skogsbränslet erhåller ett betydligt högre värde om det lagrats till en lägre fukthalt. Enligt Ringman (1996) ska skogsbränslet helst lagras liggandes luftigt i välta vilket ger en god luftväxling som leder till att skogsbränslet torkar effektivt innan sönderdelning. Ett torrare skogsbränsle leder förutom till ökat värmevärde, förmodligen även till transportvinster då det blir mindre mängd vatten som transporteras.



Figur 20. Fukthaltens inverkan på skogsbränslets effektiva värmevärde (MWh/tonTS).
Figure 20. The moisture contents effect on the forest fuels net calorific value (MWh/ODt)

5 Slutsatser

- Produktiviteten för drivaren påverkas starkt av storleken på den skördade medelstammen och mängden skogsbränsle som avverkas per hektar. Om skotningsavståndet ökar sjunker den totala produktiviteten (tonTS/G₀-timme) på grund av att mer tid går åt till terrängtransporten.
- Kvaliteten på drivarens arbete var god och det efterlämnas ett bestånd som har goda möjligheter att upprätthålla en bra tillväxt och utvecklas kvalitetsmässigt.
- Vid ett högre pris på råvaran går drivarkonceptet i studien att få ekonomiskt lönsamt även i bestånd med tämligen klen medelstam. Valet av bestånd där drivaren ska avverka, ska troligtvis bestämmas av vilket pris man kan få per MWh för skogsbränslet, samt av skotningsavståndet. Priset på råvaran beror i hög utsträckning av fukthalten, varför även lagring av skogsbränslet påverkar drivarens lönsamhet.
- Det finns goda utvecklingsmöjligheter för drivaren och dess arbetsmetod. Korridorsgallring och knäckkvistning är exempel på arbetsmetoder som skulle kunna tillämpas av drivaren, för att höja produktiviteten och/eller höja värdet på råvaran. Beståndsformer såsom storlek på medelstam och stamtäthet bör bestämma vilken arbetsmetod som ska användas i olika bestånd.

Referenser

Litteratur:

- Andersson, S. 2004. Skogsteknik förr och nu. Skogshistoriska sällskapet årskrift. Tranås. Sid 113.
- Anon. 1994. PS: Praktisk skogshandbok. Sveriges skogsvårdsförbund. Stockholm.
- Berg, S. 1983. Terrängtypschema för skogsarbete. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Kista.
- Bergkvist, I. Nordén, B. & Hallonborg, U. 2003. Drivaren är konkurrenskraftig. SkogForsk, Uppsala. Resultat nr 14 2003.
- Bergkvist, I. 2007. Drivare i slutavverkning- direktlastning och låg bränsleförbrukning är starka kort. SkogForsk, Uppsala. Resultat nr 15 2007.
- Bergström, D. 2009. Techniques and systems for boom-corridor thinning in young dense forest. Doctoral thesis no. 2009:87. Faculty of forest sciences.
- Björheden, R. Fröding, A. 1986. Ny rutin för praktisk gallringsuppföljning. Uppsatser och resultat. nr 48 Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsteknik.
- Brandel, G. 1974. Volymfunktioner för tall och gran. Skoghögskolan, Institutionen för skogsproduktion, Rapporter och Uppsatser 33: 178–191.
- Dahl, F. 2008. Potential för Energiklippdrivare i Skåne- Markägarintresse, Råvarutillgång & Ekonomi. Examensarbete nr 113. Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap. SLU, Alnarp.
- Edlund, M. 2009. Produktivitet och lönsamhet vid skogsbränsleuttag längs skogsbilvägar. Arbetsrapport 243 2009. Institutionen för skoglig resurshushållning. SLU, Umeå.
- Eriksson, H. 1973. Volymfunktioner för stående träd av ask, asp, klibbal och contorta-tall. Institutionen för Skogsproduktion, Royal College of Forestry, Stockholm. Research Notes 26: 1–26.
- Eriksson, P. & Nordén, B. 1999. Bränsleuttag i bestånd med eftersatt röjning. SkogForsk, Uppsala. Resultat nr 7.
- Eriksson, P. & Rytter, L. 2000. Bränsleuttag med drivare- ett alternativ till sen röjning i lövbestånd. SkogForsk, Uppsala. Resultat nr 4.
- Ersson, B. T. 2007. Produktivitet vid selektivt mekaniserad bioenergiröjning av eftersatta röjningsbestånd. Arbetsrapport 166 2007. SLU Institutionen för skoglig resurshushållning..

- Gullberg, T., Johansson, J. & Liss, J.-E. 1998. Studie av system EnHar vid uttag av skogsenergi i unga bestånd – Hamrestudien. Arbetsdokument nr 9, 1998 Garpenberg. Skogsindustriella institutionen, Högskolan Dalarna.
- Hammar, C-H. 2000. Timberjack 720 – Ett maskinsystem för uttag av biobränsle ur ungskog. Skogsmästarskolan, SLU, Skinnskatteberg. Examensarbete nr 13.
- Iwarsson Wide, M. 2009. Knäckkvistning – en intressant metod för uttag av skogsbränsle i klen skog. Skogforsk, Uppsala. Resultat nr 8.
- Jylhä, P. 2004. Feasibility of an adapted tree section method for intergrated harvesting of forest energy wood in early thinning of scots pine. *International Journal of Forest Engineering* 15(2): 35- 42.
- Korsfeldt, T. 2007. Energiutblick en genomlysning från energimyndigheten. Energimyndigheten, Stockholm.
- Kärhä, K., Jouhio, A., Mutikainen, A. & Mattila, S. 2005. Mechanized energy wood from early thinnings. *International Journal of Forest Engineering* 16 (1): 15-26.
- Kärhä, K. 2006. Whole-tree harvesting in young stands in Finland. – *Forestry Studies Metsanduslikud Uurimused* 45, 118–134. ISSN 1406-9954.
- Laitila, J. & Asikainen, A. 2006. Energy wood logging from early thinnings by harwarder method. *Baltic forestry*, 12 (1): 94-102.
- Liss, J-E. 2002. Återföring av träaska till skogsmark – Litteraturstudie. Arbetsdokument nr 1. 2002. Garpenberg : Avdelningen för Skog och Träteknik, Högskolan Dalarna, 2002.
- Liss, J-E. 2004. Avverkningsvolym och netton i tidig gallring vid alternativen skogsbränsle eller massaved. Pilotstudie genomförd i Skuggarvet, Falun. Systemutveckling/Arbetsvetenskap. Arbetsdokument nr 4. 2004 Garpenberg.
- Ljungdahl, S-G. 2004. Drivare i gallring – en jämförande studie av tre arbetsmetoder. Examensarbete. Studentuppsatser nr 75, 2004. Institutionen för Skogsteknologi. SLU Umeå.
- Mattsson, S.1999. Tillväxtförluster ger dolda kostnader vid uttag av skogsbränsle – framförallt i gallring. SkogForsk, Uppsala. Resultat nr 14.
- Nilsson, A. 2009. Produktivitet och lönsamhet vid skörd av skogsbränsle i klen björkgallring. Arbetsrapport 248. Institutionen för skoglig resurshushållning. SLU Umeå.
- Norgren, O. & Elving, B. 1995. Fakta skog nr 15, tall eller contorta - valet mellan stabilitet och tillväxt avgör. ISSN 1400-7789, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Nurminen, T. Korpunen, H & Uusitalo, J. 2006. Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. *Silva Fennica* 40 (2): 335-363.

Näslund, M. 1947. Funktioner och tabeller för kubering av stående träd. Meddelanden från Statens skogsforskningsinstitut 36 (3): 1–81.

Pettersson, N. Fahlvik, N. & Karlsson, A. 2007. Skogsskötselserien nr 6, Røjning. Skogsstyrelsen.

Ringman, M. 1996. Trädbränslesortiment- definitioner och egenskaper. Rapport 250/ Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära. SLU Uppsala.

Snorrason, A. & Einarsson, S.F. 2006. Single-tree biomass and stem volume functions for eleven tree species used in Icelandic forestry. Icelandic Agricultural sciences 19 (2006), 15-24.

Wester, F. 2001. Kostnad och prestation för en ny typ av drivare. Examensarbete, Studentuppsatser nr 47. 2001. Institutionen för Skogsteknologi. SLU Umeå.

Internet:

Komatsu Forest AB, Sweden 2010.

http://mickey-forest.komatsuforest.com/Admin/Extra_material_files/low_801c_f_se05.pdf
2010-01-26 kl. 13.53

Nisula Forest 2010.

<http://www.nisulaforest.com/uk/280E.pdf> 26 januari 2010 kl. 19.50

Cranab AB 2010.

<http://www.cranab.se/static/sv/> 25 maj 2010 kl. 09.14

Muntliga referenser

Andersson, M. 2010. Skogsskötselspecialist SCA Skog, Sundsvall.

Arvidsson, J. 2010. Marknadschef SCA Skog Västerbottens förvaltning. Lycksele.

Holm, S. 2009. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, SE-901 83 Umeå.

Johansson, T. 2010. Teknik och verksamhetsutveckling SCA Skog, Sundsvall

Ulvcrona, K. 2009. Enheten för Skoglig Fältforskning, SLU. Svartbergets Fältstation, SE-922 91 Vindeln.