



Produktivitet och lönsamhet vid skogsbränsleuttag längs skogsbilvägar

*Productivity and profitability of forest fuel harvest in
forest roads' right of way*



Marita Edlund

Arbetsrapport 243 2009
Examensarbete 30hp D
Jägmästarprogrammet

Handledare:
Ola Lindroos

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skoglig resurshushållning
S-901 83 UMEÅ
www.srh.slu.se
Tfn: 018-671000



ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR-243-SE

Produktivitet och lönsamhet vid skogsbränsleuttag längs skogsbilvägar

Productivity and profitability of forest fuel harvest in forest roads' right of way

Nyckelord: Produktivitet, biobränsle, skogsbilväg, vägunderhåll, klenträdsckörd

Marita Edlund

Examensarbete i skogshushållning med inriktning mot skogsteknik, 30hp

Jägmästarprogrammet

EX0492

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

Examinator: Tomas Nordfjell, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, teknologi

Extern handledare: Daniel Johansson, Holmen Skog AB

Förord

Denna studie har genomförts som ett examensarbetet omfattande 30 hp-poäng på D-nivå, vilket motsvarar 20 veckors heltidsstudier. Arbetet har gjorts inom huvudämnet skogshushållning med inriktning mot skogsteknik. Uppdragsgivare var Holmen Skog AB. Arbetet har genomförts under hösten och vintern 2008-2009.

Jag vill rikta ett stort tack till Ola Lindroos, min handledare på SLU, som har funnits till hand och bistått med goda råd under arbetets gång.

Tack Daniel Johansson, min kontaktperson på Holmen Skog AB, som tillsammans med Peter Christoffersson hjälpt mig att lyckas med fältarbetet.

Tack Kjell Johansson, Holmen Skog AB distrikt Björna, som hjälpte mig att hitta lämpliga vägar för studien.

Tack Jerker och Mikael på Edvinssons Skogsvård AB för att ni ställde upp i försöket och höll med maskin vid skörden, samt att ni tålmodigt svarade på alla mina frågor.

Tack Magnus och Niclas på Perssons Skogsmaskiner AB för att ni ställde upp i försöket och höll med maskin vid skotningen.

Tack Per och Björn på Nordmalings Skogsmaskiner AB för ni ställde upp i försöket och höll med maskin vid flisningen.

Tack till Håkan på Sjöströms Åkeri AB för att du ställde upp med kort varsel och transporterade högarna till Örnsköldsvik.

Till sist vill jag rikta ett tack till min familj, utan er hjälp och förståelse hade arbetet varit mycket svårare att genomföra.

Samtliga foton i detta arbete har tagits av Liza Edlund eller av undertecknad.

Umeå, januari 2009

Marita Edlund

Sammanfattning

Med en ökad efterfrågan på bioenergi och med bättre teknik att tillvarata denna skulle igenväxta vägar kunna gå från att vara ett kostsamt problem till att vara en biobränsleresurs. Möjligheten att kombinera traditionell buskröjning med biobränsleuttag skulle kunna medföra att underhållskostnaden för skogsbilvägarna subventioneras av biobränsleintäkterna. Kunskapen om produktiviteten och lönsamheten vid mekaniserad biobränsleskörd längs vägkanter är dock begränsad. I detta arbete har därför en produktivitetsstudie av en Rottne H8 med en klippande Naarva-grip gjorts. Studien gjordes i tre klena (brösthöjdsdiameter ca 2 cm), tre mellangrova (ca 3 cm) och i tre grova parceller (ca 4 cm) efter en skogsbilväg. Den genomsnittliga produktiviteten vid skörd var utifrån det invägda materialet 2,7 ton TS/G₀timme. Även den efterföljande skotningen och flisningen av materialet tidsstuderades för att möjliggöra att ställa kostnaden för hela arbetsprocessen mot intäkterna för det flisade materialet. I genomsnitt för samtliga behandlingar var nettot för att skörda vägkanterna 15 108 kr/ha. Vägar kantade med mellangrova och grova bestånd var lönsamma att skörda (20 599 – 34 457 kr/ha) med det studerade systemet. Skörd av klena bestånd gav ett negativt netto (– 9 733 kr/ha) vilket var sämre än kostnaden för utökad traditionell buskröjning (5 600 – 7 000 kr/ha). Kostnaderna och intäkterna från denna typ av skörd skall ställas mot de eventuella kostnader som kan undvikas i framtiden på grund av vägens förbättrade långsiktiga hållbarhet. En åtgärd av vägkantbeståndet bör ses som en investering i framtida vägkvalitet.

Sökord: Produktivitet, biobränsle, skogsbilväg, vägunderhåll, klenträds-skörd

Abstract

With an increased demand for biomass based energy and with development of better technique harvest biomass, new possibilities open up. With the possibility to combine traditional cleaning of road's right of way with biomass harvesting, the work of suppressing tree vegetation could become profitable or at least decrease the road maintenance cost. However, knowledge about productivity and profitability in mechanical biomass harvesting in roads' right of ways are still limited. Therefore a productivity study of a Rottne H8 harvester with an accumulating Naarva-harvester head was conducted. The study was performed in, respectively, three study units with small trees (2 cm mean diameter in breast height (dbh)), medium sized trees (3 cm dbh) and large trees (4 cm dbh) along a forest road. The average productivity for the machine was 2,7 tones of dry matter (DM) biomass per productive hour (E₀-hour). The subsequent forwarding and chipping of the material were also studied. The total cost for all processing and transport to industry were calculated and compared to the income for the chipped biomass. The mean net income was 15 108 SEK/ha. Roads having medium and large sized trees in their right of ways were profitable to harvest (net income 20 599 – 34 457 SEK/ha) with the studied system. The harvesting of small trees resulted in a cost (9 733 SEK/ha) which were larger than the costs for expanded traditional cleaning (5 600 – 7 000 SEK/ha). The costs and incomes related to this kind of harvest should be compared to the future costs that can be avoided as a result of the improvement durability of roads. Directly profitable or not, the maintenance of roads' right of way should therefore be seen as an investment in future road quality.

Key-words: Productivity, bioenergy, forest road, road maintenance, small-tree harvest.

Innehållsförteckning

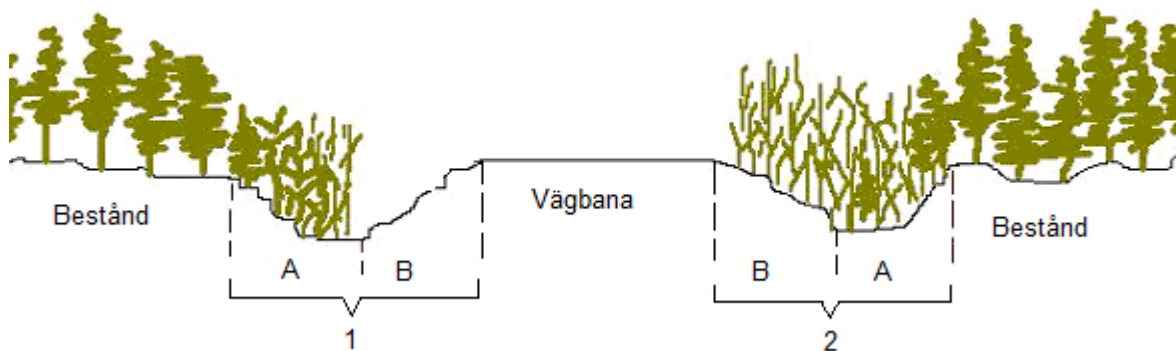
Förord	2
Sammanfattning.....	3
Abstract.....	4
Innehållsförteckning	5
1 Inledning.....	6
2 Material och metod.....	9
2.1 Bestånd	9
2.1.1 Biomassaberäkningar	9
2.2 Skörd.....	13
2.3 Skotning.....	14
2.4 Flisning.....	15
2.5 Ekonomiska antaganden och omräkningstal	16
2.6 Databearbetning.....	17
3 Resultat	18
3.1 Tidsåtgång per hektar och per ton TS.....	18
3.1.1 Skörd.....	18
3.1.2 Skotning.....	20
3.1.3 Flisning	21
3.2 Jämförelse av de olika metoderna för skattning av TS-mängd och dess effekt på arbetets produktivitet	22
3.2.1 TS-utfall vid olika skattningsmetodik	22
3.2.2 Skörd.....	23
3.2.3 Skotning.....	23
3.2.4 Flisning	24
3.3 Analys av skördeproduktivitetens beroende av beståndsvariabler	25
3.4 Lönsamhetsanalys.....	27
4 Diskussion	30
4.1 Lönsamhet	31
4.2 Alternativa åtgärder	31
4.2.1 Motormanuell skörd	31
4.2.2 Buskröjning	31
4.3 Förbättringar och egen kritik	33
4.4 Slutsatser.....	35
Referenser.....	36
Litteratur	36
Elektroniska källor.....	37
Muntliga referenser.....	37
Bilaga 1. Sammanställning över ackumulerande aggregat på den svenska marknaden hösten 2008.....	38
Bilaga 2. Arbetsmoment för tidsstudie av skörd	39
Bilaga 3. Arbetsmoment för tidsstudie av skotning	39
Bilaga 4. Arbetsmoment för tidsstudie av flisning	39

1 Inledning

Biobränsle från skog och växter är de förnyelsebara energikällorna som bäst kan konkurrera med det fossila bränslet (Energimyndigheten, 2008). I dagslägen står biobränsle, det vill säga torv, flis, bark och grot (grenar och toppar), för en femtedel av Sveriges energiförsörjning (Anon, 2007) och enligt Energimyndigheten (2008) är tillgången på biobränsle i Sverige så stor att det i framtiden kommer att vara en av de viktigaste energikällorna.

Utbyggnaden av fjärrvärmeverk är i dag omfattande och de nya värmeverken skall till stor del drivas av biobränslen, vilket ökar efterfrågan på dessa produkter. Samtidigt ökar skogsindustrins efterfråga på massa och timmer. Även utländska aktörer intresserar sig för den svenska råvaran, exempelvis Finland på grund av tullarna på ryskt virke. Enligt politiskt och ekonomiskt satta mål kommer användandet av biobränsle att öka i Sverige (Nordfjell et al., 2008). Biprodukter från skogsindustrin och uttag av grot i samband med avverkning svarar redan i dag för den största andelen av den producerade bioenergin, men för att möta den ökande efterfrågan måste hittills outnyttjade resurser börja användas. En sådan resurs är skogsbränsle som i dagsläget inte skördas i nämnvärd omfattning (Liss, 2001). På senare tid har därför intresse vänts mot bland annat röjning och gallring i ungskog. I eftersatta röjningsbestånd och i tidiga gallringar kan skogsbränsleuttag medföra ett visst ekonomiskt bidrag till skogsvårdsåtgärderna. En annan anledning till det ökade intresset för gallringskog har på vissa håll varit bristen på mogna slutavverkningsbestånd där uttag av grot har varit möjlig (Liss, 2001). Detta har medfört en utveckling av teknik och metoder för uttag av skogsbränsle. Några exempel är små beståndsgående maskiner och ackumulerande aggregat.

Skogsbilvägar är en viktig förutsättning för bedrivandet av dagens skogsbruk och att hålla dem i körbart skick kräver en del arbete (Stridsman, 2006). Den viktigaste funktionen med vägens sidoområden (Fig. 1) är att avvattna och dränera vägbanan. Vegetationsinväxt i vägbanan eller dess närområde medför att vatten binds och vägbanan blir mindre hållbar. Vegetation i vägens närområde innebär dessutom att snön ligger kvar längre på våren och det tar därmed längre tid innan vägen är i körbart skick. Det kan dessutom vara svårt att ploga upp en väg med igenväxt dike då det hänger träd över vägbanan och det finns liten eller ingen plats att ploga ut snön. Om inte vegetationen i vägarnas sidoområden hålls efter fortlöpande innebär det därför att det tillkommer mycket arbete när en bestandsåtgärd skall utföras i vägens båtnadsområde. Vegetationen hålls normalt sett undan genom mekaniserad buskröjning, vilket i regel utförs var tredje eller fjärde år och det röjda materialet får ligga kvar i diket och förmultna (Johansson, 2008, pers. komm.). Längs skogsbilvägar buskröjs det traditionellt ned till diketets botten eller med två slag av buskröjningsaggregatet, vilket motsvarar ca 180 cm, medan det på motsatt slänt tillåts växa upp vegetation (Scenario 1, Fig. 1).



Figur 1. Schematisk bild över dagens två vanligaste vägunderhållsscenarion. Scenario 1: Buskröjning ned till dikesbotten (område B) vart tredje eller fjärde år med vegetation på motsatt slänt (område A). Scenario 2: Ingen åtgärd utförs, vilket medför att vegetation finns ända in mot vägbanan.

Figure 1. Schematic figure over the two most common road maintenance scenarios. 1: Shrub cleaning every three or fourth year (B) with vegetation on the opposite side of the ditch (A). 2: No maintenance measures taken, with vegetation right on to the road surface.

Med en ökad efterfråga på biobränsle och bättre teknik att tillvarata denna så öppnar sig dock nya möjligheter för vägunderhållet. Igenväxta vägar blir då inte nödvändigtvis bara ett kostsamt problem eftersom möjligheten att ersätta eller kombinera traditionell buskröjning med biobränsleuttag skulle medföra att underhållskostnaden för skogsbilvägarna subventioneras av biobränsleintäkterna.

Det är lättare att tillvarata biobränsle längst en väg än i ett bestånd (Lindroos, 2008). I ett bestånd är kraven högre då rätt träd skall skördas utan att kvarlämnade träd skadas. I vägens sidoområde skall däremot all trädbiomassa bort och endast hänsyn till bakomvarande bestånd behöver tas. I ett bestånd kan terrängförhållandena vara av skiftande kvalitet medan det på väg är bra framkomlighet eftersom det finns en vägbana att köra på.

Det finns olika ackumulerande avskiljningsutrustning utvecklade främst för mekaniserad röjning/gallring som kan vara lämpliga vid skogsbränsleuttag längst skogsbilvägar. För närvarande domineras marknaden av klippande aggregat enligt den marknadssammanställning som ursprungligen gjordes av Bergström et al. (2006) och som uppdaterades i detta arbete. Sammanställningen över de ackumulerande aggregat som fanns på den svenska marknaden hösten 2008 redovisas i bilaga 1.

Produktiviteten vid skörd med ackumulerande aggregat i röjnings- och gallringsbestånd varierar beroende på arbetsmetodik samt vilken typ av basmaskin och ackumulerande aggregat som har använts (Ersson, 2007). Det har även stor betydelse hur beståndet ser ut, hur stor uttagsandelen varit och vilken diameter de avverkade stammarna har (tabell 1).

Tabell 1. Teknisk data, beståndsdata och produktivitet rapporterade i studier av bibränsleskörd i skogsbestånd med ackumulerade aggregat

Table 1. Technical data, stand characteristics and productivity in previous studies of pre-commercial thinning with accumulating harvester heads

System		Beståndsdata,			Uttag (ton TS/ha)	Produktivitet (ton TS/G ₀ tim)	Referenser
Aggregat	Basmaskin	Diameter (cm,dbh ²)	Höjd (m)				
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	Gullberg et, al. (1998)	
Timber- jack 720 ¹	Rottne 2004 (6 ton) beståndsgående skördare, 7 m kran	7,4			1,9	Hammar (2000)	
Naarva- Grip 1600-40	Valmet 901 (14 ton), 10 m kran	3,5	4,9	12,7	1,15	Kärhä et, al. (2005)	
Naarva- Grip 1000-23	Vimek 404R (2,8 ton), 5 m kran	4,6	7,05	55,9	0,98	Ersson (2007)	

¹) Timberjack 720 är en vidareutveckling av EnHar aggregatet.

2) Dbh = diameter i bröst höjd (1,3m) på bark.

Några produktivitetsstudier för vägkantsskörd har inte kunnat hittas och det är därför svårt att analysera huruvida det är lönsamt att tillvarata bibränslet vid denna typ av vägunderhåll. Åtgärden utförs dock redan och de maskiner som för närvarande är kontrakterade av Holmen Skog ersätts utifrån arbetstid utan uppföljning av hur mycket som produceras. Följaktligen finns det behov av en studie av produktiviteten för att möjliggöra analyser av åtgärdens lönsamhet och dess variation över medeldiametern.

Syftet med detta examensarbete var att kvantifiera produktiviteten vid skörd av skogsbränsle längs skogsbilvägar och dess variationer över skördade träd medeldiameter. Arbetets syfte var också att nyttja produktivitetssuppgifterna till analyser av skördens lönsamhet, vilket i sin tur var tänkta att ligga till grund för diskussion om åtgärden kan anses vara en fungerande metod utifrån Holmen Skogs ambitioner kring vägskötsel.

2 Material och metod

Studien genomfördes efter en skogsbilväg på Holmen Skogs distrikt Björna, Örnsköldsviks kommun. I slutet av juli till i början av augusti gjordes den objektiva inventeringen av parcellerna. Under augusti månad tidsstuderades skörden och skotningen varefter det klippta materialet fick ligga till november då det flisades. Tidsstudien genomfördes med en tidsstudiedator av modell Husky Hunter med programmet Siwork 3. Det registrerade resultatet i Siwork 3 presenteras i hundradels minuter (centiminuter) men har sedan räknats om till sekunder, minuter och timmar.

2.1 Bestånd

Försökets tre behandlingar *klen*, *mellan* och *grov* utgick ifrån trädens medeldiameter på bark i brösthöjd (1,3 m). Varje behandling inkluderade tre parceller (uppreningar) med likvärdig medeldiameter (tabell 2). Studien omfattade således totalt nio parceller. Parcellerna var placerade längs ena sidan av en skogsbilväg och de hade för behandling *mellan* och *grov* en längd av femtio meter samt en bredd på fyra meter från vägbanans yttre kant. Efter den aktuella vägen var det svårt att hitta tillräckligt långa partier med *klen* medeldiameter och därför kortades längden på parcellerna i behandling *klen* ned till 20 meter. Efter den aktuella vägen hade buskröjning utförts med två slag, vilket medförde att området närmast vägbanan inte var trädbevuxen. Till buskröjningen hade ett röjaggregat med en bredd av cirka 0,90 meter använts vilket innebar att cirka 1,5 meter av bredden inte var trädbevuxen. Den trädbevuxna parcellytan uppgick således till 0,0125 hektar ($2,5 \times 50$ m) för behandling *mellan* och *grov* och 0,005 hektar ($2,5 \times 20$ m) för behandling *klen*. För att underlätta vid inventeringen och vid skörden så markerades parcellernas början och slut längs vägen med käppar samt snitselband och dessutom snitslades yttergränsen mot befintligt bestånd. Parcellerna i behandlingarna *mellan* och *grov* bältestaxerades med tio stycken en meter breda bälten, lagda vinkelrätt mot vägen. Behandling *klen* inventerades med fem bälten. Placeringen av det första bältet slumpades ut inom den första femmeterssträckan och sedan lades de övriga nio (fyra) ut med konstant femmetersintervall. Detta medförde att för behandling *klen* inventerades 25 % och för behandlingarna *mellan* och *grov* inventerades 20 % av arealen. Inom bältena mättes diametern i brösthöjd (i millimeter) och höjd (i decimeter) på samtliga träd högre än 1,3 meter, dessutom antecknades trädslag fördelade på tall (*Pinus sylvestris*), gran (*Picea abies*), björk (*Betula ssp.*) och övrigt löv. Övrigt löv utgjordes nästan uteslutande av främst gråal (*Alnus incana*) och en del sälgarter (*Salix sp.*).

2.1.1 Biomassaberäkningar

Biomassaberäkningar utfördes enligt samma tillvägagångssätt som en tidigare studie om biomassa längs skogsbilvägskanter (Eriksson, 2008) och mycket av detta stycke är därför enligt dess metodikbeskrivning. Marklunds (1988) funktion användes som huvudfunktion för beräkning av träds biomassa, men dessutom gjordes parallella beräkningar med funktioner framtagna av Kristina Ulvcrona vid SLU i Vindeln (2008, pers. komm.) Om inte annat nämns avses dock biomassan enligt Marklund. Valet av två funktioner berodde på att Marklunds (1988) funktioner är begränsad i användandet på klenta diametrar medan Ulvcronas funktioner är framtagna för detta ändamål. Ulvcronas funktioner verkar dock vara begränsade vid användandet på grövre diametrar (Eriksson, 2008) och var ännu inte publicerade då denna studie genomfördes. Sedan Erikssons (2008) studie uppdaterade Ulvcrona sina funktioner, och i detta arbete har de uppdaterade varianterna använts.

Marklunds (1988) och Ulvcronas (2008, pers. komm.) funktioner har gemensamt att de omfattar tall, gran och björk. Eftersom varken Marklund eller Ulvcrona har gjort funktioner för andra lövträd än björk har funktionen för björk använts även vid beräkningarna för övrigt löv.

Marklunds (1988) funktioner använder variablerna diameter (D) i centimeter, höjd (H) i decimeter och biomassa (M) beräknas ut som kg torrsbstans (TS) genom att de olika träddelarnas biomassa summeras. I detta fall utgörs relevanta träddeklar av allt ovan stubbe exklusive barr/löv. I detta arbete skördades lövat material men då flisningen av materialet skedde hade löven lossnat, varför löv/barr inte togs med i biomassaberäkningarna. Biomassan för ett träd av ett givet trädslag (M_Y) beräknas som summan av biomassan för alla ingående träddeklar, där biomassan för en kategori av träddeklar (M_{Yd}) beräknas enligt

$$M_{Yd} = e^{a+b_1 \times D + b_2 \times H + b_3 \times \ln H} \quad [1]$$

där a är funktionens konstant medan b_1 , b_2 och b_3 är koefficienter. Konstanter och koefficienter varierar mellan olika träddeklar och trädslag och framgår av tabell 2.

Ulvcronas (2008, pers. komm.) funktion använder samma variabler (D och H) och enheter, men biomassan för ett givet träd av givet trädslag (M_Y) beräknas direkt för alla träddeklar ovan stubbe inklusive barr/löv, enligt

$$M_Y = 10^{a+b_1 \times \ln D \times \ln H} \quad [2]$$

där a och b_1 är funktionens konstant respektive koefficient. Konstanter och koefficienter varierar mellan olika trädslag och framgår av tabell 2.

Tabell 2. Konstanter och koefficienter i Marklunds (1988) och Ulvcronas (2008, pers. komm.) biomassafunktioner

Table 2. Constants and coefficients in Marklund's (1988) and Ulvcrona's (2008, pers. comm.) biomass functions

Funktion	Trädslag	Träddeklar	Konstant	Koefficienter		
			a	b_1	b_2	b_3
Marklund	Tall	stam p.b ²	-2,6768	7,5939	0,0151	0,8799
		levande grenar	-2,5413	13,3955	-	-1,1955
		döda grenar	-5,8926	7,127	-0,0465	1,106
	Gran	stam p.b ²	-2,1702	7,469	0,0289	0,6828
		levande grenar	-1,2063	10,9708	-0,0124	-0,4923
		döda grenar	-4,6351	3,6518	0,0493	1,0129
	Björk	stam p.b ²	-3,5686	8,2827	0,0393	0,5772
		levande grenar	-3,3633	10,2806	-	-
		döda grenar	-6,6237	11,2872	-0,3081	2,6821
Ulvcrona	Tall	samtliga	-0,61492	0,190018		
	Gran	samtliga	-0,35641	0,166383		
	Björk	samtliga	-0,65123	0,194774		

¹⁾ - beroende på vilken träddeklar och trädslag beräkningarna avsåg nyttjades olika kombinationer av variabler i funktionen.

²⁾ p.b = på bark.

Biomassan beräknades för varje enskilt inmätt träd i parcellerna. För att få totala mängden TS per parcell multiplicerades summan av alla inmätta träd i behandling *klen* med fyra eftersom 25 % av arealen inventerades medan summan i behandling *mellan* och *grov* multiplicerades med fem eftersom 20 % av arealen inventerades.

Stamantalet i parcellerna varierade mellan 11 600 och 44 000 träd per hektar (tabell 3). Om endast stammar över tre centimeter i brösthöjdsdiameter togs med i beräkningarna varierade stamantalet mellan 4 400 och 18 400 stammar per hektar (tabell 4).

Tabell 3. Parcellernas egenskaper enligt objektiv bältesinventering, samtliga träd
Table 3. The study units' characteristics according to the objective belt inventory, all trees

Behandling	Parcell	Diameter ¹ (cm)		Höjd (m)		Antal träd (n/ha)		Torrsubstansmängd (kg/ha)		Lövandel (%)	
		Medel	SA ²	Medel	SA	Medel	SA	Marklund funktion	Ulvcrona funktion	Av stam- antal	Av TS ³
<i>klen</i>	8	1,9	1,3	2,7	1,1	6 720	3 180	34 200	30 800	86	55
	9	2,1	1,3	3,1	1,4	8 640	2 147	43 800	43 600	93	93
	10	2,2	1,6	3,2	1,4	8 880	2 713	54 400	51 800	89	92
<i>mellan</i>	1	3,4	2,2	4,4	2,1	3 960	1 199	132 800	125 360	90	89
	4	3,6	2,2	4,4	2,2	2 600	827	93 680	87 440	85	85
	6	2,9	2,1	3,4	2,1	4 400	754	107 120	96 000	69	78
<i>grov</i>	2	5,7	4,6	5,5	3,3	1 190	717	163 840	162 480	72	93
	5	3,7	4,4	3,4	2,9	1 440	983	122 960	115 120	67	66
	7	3,0	3,4	3,5	2,5	2 480	1 112	126 240	117 200	87	80

¹) Aritmetisk medeldiameter på bark i brösthöjd

²) SA = Standardavvikelsen

³) Beräknad enligt Marklunds (1988) funktion

Tabell 4. Parcellernas egenskaper enligt objektiv bältesinventering, träd med en diameter i brösthöjd på ≥ 3 cm

Table 4. The study units' characteristics according to the objective belt inventory, trees ≥ 3 cm dbh

Behandling	Parcell	Diameter ¹ (cm)		Höjd (m)		Antal träd (n/ha)		Torrsubstansmängd (kg/ha)		Lövandel (%)	
		Medel	SA ²	Medel	SA	Medel	SA	Marklund funktion	Ulvcrona funktion	Av stam- antal	Av TS ³
<i>klen</i>	8	4,5	0,7	4,1	1,2	960	876	19 800	16 800	50	39
	9	4,0	0,6	5,1	0,8	1 920	716	27 000	27 200	100	100
	10	4,5	1,2	5,0	0,6	2 240	876	38 400	36 800	100	100
<i>mellan</i>	1	5,2	1,9	6,1	1,7	1 840	602	118 880	111 760	89	90
	4	5,5	1,6	6,3	1,6	1 280	700	85 680	79 840	84	86
	6	5,0	2,0	5,6	2,1	1 440	602	87 040	79 360	71	85
<i>grov</i>	2	8,0	4,4	7,3	2,9	720	527	160 400	159 440	78	94
	5	8,9	4,6	6,9	3,0	440	350	118 880	111 200	27	66
	7	7,9	3,5	6,8	2,7	640	430	118 560	109 840	69	80

¹) Aritmetisk medeldiameter på bark i brösthöjd

²) SA = Standardavvikelsen

³) Beräknad enligt Marklunds (1988) funktion

För att få en uppfattning om tidsintervallen sedan senaste åtgärd av vägområdet togs stickprov (≥ 8 per parcell) av de skördade trädens ålder efter genomförd skörd. Det fanns en skillnad i ålder mellan de olika behandlingarna, där träden i behandling *klen* var signifikant yngre jämfört med träden i både behandling *mellan* (Tukey-test, $p = 0,0023$) och behandling *grov* (Tukey-test, $p = 0,0007$) (tabell 5).

Tabell 5. Trädålder (medel och standardavvikelse (SA)) inom de olika behandlingarna
Table 5. Age of the trees (mean and standard deviation (SA)) over treatments

Behandling	Ålder (år)	
	Medel	SA
<i>klen</i>	15,3 ^a	1,5
<i>mellan</i>	27,7 ^b	1,5
<i>grov</i>	30,7 ^b	3,8

Värden med olika upphöjda bokstäver är signifikant skilda åt ($p < 0,05$).

2.2 Skörd

Maskinen som användes till avskiljningen var en Rottne H8 utrustad med ett Naarva-grip 1500-25 EH aggregat (Fig. 2). Aggregatet hade en maximal klippdiameter på 25 cm. Maskinen ägdes av Edvinssons Skogsvård AB i Örträsk och var stationerad på Holmen Skogs distrikt Lycksele. Samma förare skördade samtliga parceller. Föraren hade arbetat drygt fyra år inom skogsbranschen och väggkantsskörd hade han utfört i ca fem månader. Han var således van vid både maskinen och vid att skörda längs vägkanter. De arbetsmoment som tidsstuderades i samband med skörden redovisas i bilaga 2 och därutöver noterades antal nedläggningar (aggregatstömningar) per parcell. En krancykel inkluderade arbetsmomenten kran ut, klippning/ackumulering och kran in. Under krancykeln var maskinen positionerad mot diket (se omslagsbild) för att undvika en statisk huvudvridning hos föraren eftersom varken stol eller förarhytt var vridbara. Det medförde således en extra körning vid varje ompositionering jämfört med att köra rakt fram längst vägen. Det skördade materialet lades i högar för att underlätta efterföljande skotning. Vid skörd av vissa långa träd i behandling *mellan* och *grov* kapades de först på mitten och sedan i roten, för att inte skada bakomvarande bestånd vid nedläggningen av stammarna. Skördaren studerades totalt i 2 timmar och 31 minuter och under den tiden förekom inga avbrott eller övriga störningar.



Figur 2. Studiens skördeutrustning: basmaskin Rottne H8 (vänster) och aggregat Naarva-grip 1500-25 EH (höger).

Figure 2. The harvest equipment in this study was a Rottne H8 single grip harvester (left) with a Naarva-grip 1500-24 EH accumulating harvester head (right).

2.3 Skotning

Maskinen som användes till skotningen var en grotskotare av märket Timberjack 1710D (Fig. 3), som ägdes av Bröderna Perssons Skogsmaskiner AB, Bredbyn och var stationerad på Holmen Skogs distrikt Bredbyn. Föraren hade arbetat ett år inom skogsbranschen och hade under den tiden kört grotskotare vilket innebar att han var van vid arbetet och vid maskinen. De arbetsmoment som tidsstuderades i samband med skotningen redovisas i bilaga 3. Lastning och ompositionering var tänkta som två skilda arbetsmoment, men då tidsstudiedatorn inte fungerade på rätt sätt vid studiegenomförandet kunde inte dessa moment särskiljas. Tiden för lastningen och ompositionering har därför tvingats slås ihop till ett gemensamt arbetsmoment. Vägtransport från parcell till avlägg ingick inte i tidsstudien, men hastigheten på ekipaget under dessa transportsträckor var 7-8 km/h vilket möjliggör beräkning av vägtransportens tidsåtgång som en funktion av transportavstånd. Högarna från skörden av en parcell skotades ihop och materialet från respektive parcell sårhölls för att möjliggöra parcellvis tidsstudie vid flisningen samt fukthaltsprovtagning. Ambitionen var att väga biomassan med skotarens våg i lastutrymmet, men då biomassamängden i en parcell generellt var låg jämfört med vågens mätområde var det svårt att erhålla en tillförlitlig vikt. Skotaren studerades i total 32 minuter och under denna tid fanns inga avbrott eller övriga störningar.



Figur 3. Studiens skotare Timberjack 1710D.

Figure 3. The forwarder used in this study was a Timberjack 1710D.

2.4 Flisning

Av praktiska skäl flyttades högarna till Må återvinningsstation i Örnsköldsvik innan flisningen. Vid framkomst vägdes lastbilen innan och efter lossning för att få en vikt på parcellernas material (tabell 6). Vågen som användes till detta var en krönt fordonsvåg med en noggrannhet på 10 kg och den klarade upp till 60 ton.

Flisningen utfördes av Nordmalings skogsmaskiner AB. Maskinen som användes var en John Deere 1710D-skotare utrustad med en trumhugg av märket Bruks 805 CT. Föraren hade kört maskinen i tre år. Tidsstudien av flisningen innefattar endast arbetsmomentet flisning och inte körning till avlägg eller tömning av balja (bilaga 4). I samband med flisningen vägdes det flisade materialet från parcellerna var för sig ytterligare en gång med hjälp av vågen i flisskotarens lastutrymme. Då de klena parcellerna var för lätta gav vågen en orimlig vikt för dessa. De klena parcellerna kontrollvägdes därför efter flisning och fukthaltsprovtagning genom att materialet lastades i en traktorskopa och sedan vägdes traktorn med och utan last på samma våg som användes till lastbilsvägningen.

Viktskillnaden mellan lastbilsvägningen och traktorvägningen för de klena var ca 10-12 kg och de vikter som slutligen användes till lönsamhetsberäkningarna var vikterna från lastbilsvägningen. Flisaren studerades i total 32 minuter och under denna tid fanns inga avbrott eller övriga störningar.



Figur 4. Studiens flisutrustning: basmaskin John Deere 1710D (vänster) och en Bruks 805 CT trumhugg (höger).

Figure 4. The chipping equipment in this study was a John Deere 1710D forwarder (left) with a Bruks 805 CT drum chipper (right).

Efter flisningen togs tre fukthaltsprover per parcell, det vill säga totalt tjugosju stycken. Proverna förpackades i papperspåsar, märkta med parcellnummer. I direkt anslutning till flisningen vägdes flisproverna på en krönt butiksvåg och vikten noterades på påsen. Flisproverna torkades i torkskåp i $105 \pm 2^\circ\text{C}$ tills konstant vikt uppnåddes (standard SS187170 (Anon.1997)). Fukthalten (FH) i viktprocent beräknades enligt

$$FH = 100 \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \quad [3]$$

där m_1 = provets vikt före torkning och

m_2 = provets vikt efter torkning.

Torrsubstansmängden biomassa i respektive parcell beräknades baserat på medelvärdet av de tre fukthaltsvärdena. I uträkningarna var det värdet för respektive parcell som användes. Medelfukthalten för det flisade materialet var 40,8 % med en standardavvikelse på cirka 4,5 procentenheter (tabell 6).

Tabell 6. Mängden biomassa i parcellerna baserat på lastbilsvägning och fukthaltsprover
Table 6. The quantity of biomass in the study units based on weighing and humidity content

Behandling	Parcell	Flisat material			Biomassa	
		Råvikt (kg/parcell)	Fukthalt (%)		(kg TS/parcell)	(kg TS/ha)
			Medel	SA ¹		
<i>klen</i>	8	340	48,3	2,5	176	35 200
	9	400	42,5	0,3	230	46 000
	10	280	43,0	0,2	160	32 000
<i>mellan</i>	1	1 840	35,6	0,5	1 184	94 720
	4	1 850	36,4	1,1	1 176	94 080
	6	1 440	36,7	0,4	912	73 960
<i>grov</i>	2	2 080	37,3	1,2	1 304	104 320
	5	2 540	45,0	0,9	1 398	111 840
	7	1 660	42,7	0,5	951	76 080

¹) SA = Standardavvikelse

2.5 Ekonomiska antaganden och omräkningstal

De priser som fanns i avtalen mellan Holmen Skog och entreprenörer respektive biomassauppköpare var inte tillgängliga för denna studie. Kostnadsberäkningarna har därför baserats på ungefärliga marknadspriser enligt tabell 7. I studien ingick inte transport mellan parcell och avlägg. För att få fram en heltäckande kostnad har det i beräkningarna antagits ett skotningsavstånd på 500 m enkel väg, vilket med observerad körhastighet längs väg (7-8 km/h) beräknades ge ett tidstillägg på 8 min/lass och därmed en kostnad på 106 kr/lass. Vid kostnadsberäkningarna har det antagits att transporten av det flisade materialet till värmeverk har utförts med en självlastande flisbil med täckta sidor och den har en lastkapacitet på 32 råton. Transportavståndet för lastbilen antogs till 50 km enkel väg.

Tabell 7. Priser som används i lönsamhetsanalyserna (Christoffersson 2008, pers. komm.)
Table 7. Prices used in analyses of profitability (Christoffersson 2008, pers. komm.)

<i>Pristyp</i>	Pris	Enhet	Kommentar
<i>Kostnad</i>			
Skörd	800	kr/G ₁₅ tim	inkl, flytt, resor, trailer
Skotning	800	kr/G ₁₅ tim	inkl, flytt, resor, trailer och täckpapp
Flisning	110	kr/m ³ f	inkl, flytt, resor, trailer
Flisbil	717	kr/G ₁₅ tim	50 km medeltransportavstånd, 8 kr/l i dieselpris och medelhastighet 50 km/h
Manuell röjning	275	kr/G ₁₅ tim	
<i>Intäkt</i>			
Grotflis	190	kr/MWh	fritt industri

Tidsåtgången i studierna (G₀-tid) hade omvandlats till G₁₅-tid då raster och underhåll inte vara medräknade. För att få fram G₁₅-tiden användes ett omräkningstal, som baserades på uppgifter från Holmen Skog om att nyttjandegraden på skördaren var 84,1 % och på

skotaren 86,1 %. Omvandlingen gjordes således genom att dividera G_0 -tiden med för 0,841 skördaren och med 0,861 för skotaren. Produktivetsmättet som användes i lönsamhetsberäkningarna var baserade på medelvärdet per behandling. Den produktivetsbas som användes var mängd TS enligt lastbilsinvägningen då detta var den faktiska mängd TS som levererades från parcellerna och eftersom det är utifrån invägt material som betalning utgår.

Vid omräkning mellan olika mass-, volyms- och energienheter har i studien ett ton TS motsvarat 2,6 m³ fast virkesvolym, 5,6 m³ stjälpflisvolym samt 5,33 MWh (ger effektivt värmevärde för absolut torrt material) (Anon. 1994).

2.6 Databearbetning

Data sammanställdes i Microsoft Excel och för att möjliggöra jämförelser mellan behandlingar med olika stora parceller normerades variablerna, främst mot biomassamängd (t.ex. tidsåtgång per ton TS) och areal (t.ex. tidsåtgång per hektar). Vid jämförelser av hur de olika metoderna för att skatta mängden TS påverkade arbetseffektiviteten användes normerade värden för produktiviteten, vilket är inversen av tidsåtgången (dvs. ton TS per tidsenhet). Normerat data analyserades i Minitab 15 genom variansanalys (ANOVA) baserad på modellen:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + e_{ij} \quad [4]$$

där y är den beroende variabeln, μ är 'grand mean' (totalmedelvärde), α är den oberoende huvudeffekten av behandlingen beståndsmedelstam och e är de slumpvisa avvikelserna. ANOVA-modellen analyserades genom en generell linjär modell (GLM) och skillnader mellan olika nivåer på huvudeffekter (olika behandlingar) har analyserats med hjälp av Tukey-test. Som gräns för signifikanta skillnader har 5 % använts.

3 Resultat

3.1 Tidsåtgång per hektar och per ton TS

3.1.1 Skörd

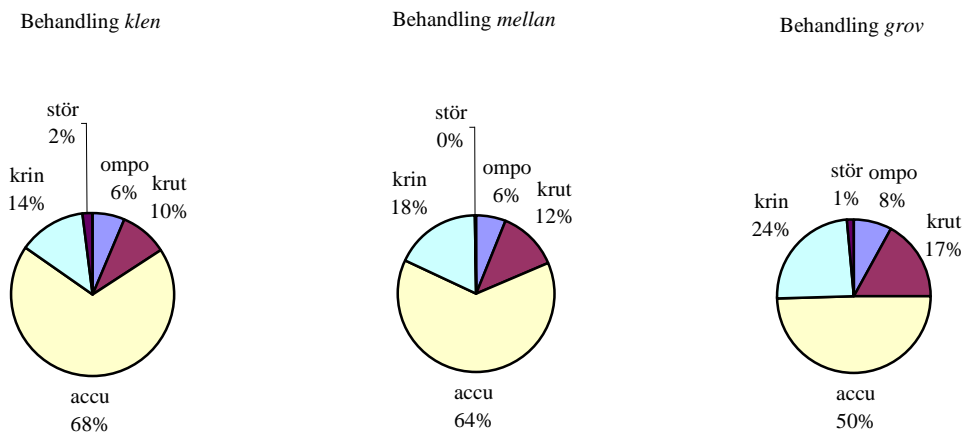
Tidsåtgången per hektar visade på signifikanta skillnader mellan behandlingarna *mellan* och *grov* (Tukey-test, $p = 0,0142$) (tabell 8). Den genomsnittliga tidsåtgången för samtliga behandlingar var 28 timmar och 12 minuter (G_0 tid/ha), med en standardavvikelse på 4 timmar och 30 minuter. Det enda enskilda arbetsmoment som vid skörd visade på en signifikant skillnad mellan behandlingarna var ackumulering, där ackumulering i behandling *grov* krävde mindre tid per hektar än i behandling *klen* (Tukey-test, $p = 0,0061$) och *mellan* (Tukey-test, $p = 0,0055$). Ackumuleringen upptog den största andelen av tidsåtgången per hektar i alla tre behandlingarna (figur 5) och genomsnittsandelen för samtliga behandlingar var 61 %.

Tabell 8. Tidsåtgången för skördarbetsmomenten (medel och standardavvikelse (SA)) fördelade på behandling (G_0 tim/ha)

Table 8. Time consumption for harvest work elements (time and standard deviation (SA)) over treatments (E_0 hour/ha)

Arbetsmoment	Behandling					
	<i>klen</i>		<i>mellan</i>		<i>grov</i>	
	Medel	SA	Medel	SA	Medel	SA
Ompositionering	1,8 ^a	0,7	1,9 ^a	0,1	1,9 ^a	0,2
Kran ut	2,8 ^a	1,1	4,0 ^a	0,2	4,0 ^a	0,3
Ackumulering	20,2 ^a	2,7	20,4 ^a	1,7	11,5 ^b	1,9
Kran in	4,0 ^a	2,1	5,6 ^a	0,2	5,6 ^a	1,3
Störning	0,5 ^a	0,6	0,1 ^a	0,2	0,3 ^a	0,1
Totalt	29,3 ^{ab}	3,7	32,0 ^a	2,2	23,2 ^b	1,3

Inom rader är värden med olika upphöjda bokstäver signifikant skilda åt ($p < 0,05$)



Figur 5. Tidsåtgångens (G_0 -tim/ha) relativa fördelning över arbetsmoment för de olika behandlingarna. Förkortningarnas betydelse: accu = ackumulering, krut = kran ut, ompo = ompositionering, stör = störning, krin = kran in.

Figure 5. The relative distribution of harvesting work time (E_0 hour/ha) over work elements and treatments. Abbreviation key: accu = accumulation, krut = boom out, ompo = repositioning, stör = disturbance, krin = boom in.

Tidsåtgången per skördat ton TS var signifikanta högre för behandling *klen* än för behandling *mellan* (Tukey-test, $p = 0,0004$) och *grov* (Tukey-test, $p = 0,0001$) (tabell 9). De arbetsmoment som visade på skillnader vid analys per ton TS var ompositionering och ackumulering. Vid ompositionering var tidsåtgången i behandling *klen* signifikant högre än både behandling *mellan* (Tukey-test, $p = 0,0265$) och *grov* (Tukey-test, $p = 0,0157$). Vid ackumuleringen fanns det signifikanta skillnaderna mellan samtliga behandlingar.

Tabell 9. Tidsåtgången för skördarbetsmomenten (medel och standardavvikelse (SA)) fördelade på behandling och variabler (G_0 min/tonTS)

Table 9. Time consumption for harvest work elements (mean and standard deviation (SA)) over treatments (E_0 min/tonTS)

Moment	Behandling					
	<i>klen</i>		<i>mellan</i>		<i>grov</i>	
	Medel	SA	Medel	SA	Medel	SA
Ompositionering	2,9 ^a	0,9	1,3 ^b	0,2	1,2 ^b	0,1
Kran ut	4,4 ^a	0,8	2,8 ^a	0,3	2,5 ^a	0,4
Ackumulering	32,3 ^a	2,2	14,2 ^b	2,7	7,3 ^c	1,9
Kran in	6,5 ^a	3,8	3,9 ^a	0,5	3,5 ^a	0,6
Störning	0,9 ^a	1,2	0,1 ^a	0,1	0,2 ^a	0,1
Totalt	47,0 ^a	4,3	22,3 ^b	3,7	14,6 ^b	2,4

Inom rader är värden med olika upphöjda bokstäver signifikant skilda åt ($p < 0,05$)

Med avseende på tid per krancykler (arbetsmomenten kran ut, ackumulering och kran in) fanns det signifikanta skillnader mellan behandlingarna *klen* och *mellan* (Tukey-test, $p = 0,0092$) och mellan behandlingarna *klen* och *grov* (Tukey-test, $p = 0,0011$) (tabell 10). Mängden skördad TS (kg) per krancykel var 18,4 (SA 1,4), 28,7 (SA 3,2) och 35,6 (SA 5,1) i behandling *klen*, *mellan* respektive *grov*.

Tabell 10. Skördkrancyklernas tidsåtgång och antal fördelat på behandling
Table 10. Time consumption and numbers of boom cycles during harvest

Behandling	Tidsåtgång (sekund/cykel)		Antal / hektar	
	Medel	SA ¹	Medel	SA
<i>klen</i>	47,7 ^a	6,1	2 067 ^a	503
<i>mellan</i>	35,5 ^b	1,9	3 040 ^b	212
<i>grov</i>	27,9 ^b	1,6	2 740 ^{ab}	160

Inom rader är värden med olika upphöjda bokstäver signifikant skilda åt ($p < 0,05$)

¹) SA = Standardavvikelse

3.1.2 Skotning

För det studerade skotningsarbetet (lastning-ompositionering och lossning) återfanns inga signifikanta skillnader i tidsåtgång per hektar mellan behandlingarna (tabell 11). Den genomsnittliga tidsåtgången per hektar för samtliga behandlingar var 5 timmar och 48 minuter med en standardavvikelse på 1 timme och 12 minuter.

Tabell 11. Tidsåtgången för skotningsarbetsmomenten (medel och standardavvikelse (SA)) fördelade på behandling (G_0 tim/ha)

Table 11. Time consumption for forwarding work elements (mean and standard deviation (SA)) over treatments (E_0 hour/ha)

Behandling	Lastning - ompositionering		Lossning		Totalt	
	Medel	SA	Medel	SA	Medel	SA
<i>klen</i>	4,1 ^a	1,1	1,6 ^a	0,9	5,6 ^a	1,9
<i>mellan</i>	3,6 ^a	0,8	2,3 ^a	1,0	5,9 ^a	1,2
<i>grov</i>	3,9 ^a	0,4	2,0 ^a	0,1	5,9 ^a	0,4

Inom kolumner är värden med olika upphöjda bokstäver signifikant skilda åt ($p < 0,05$)

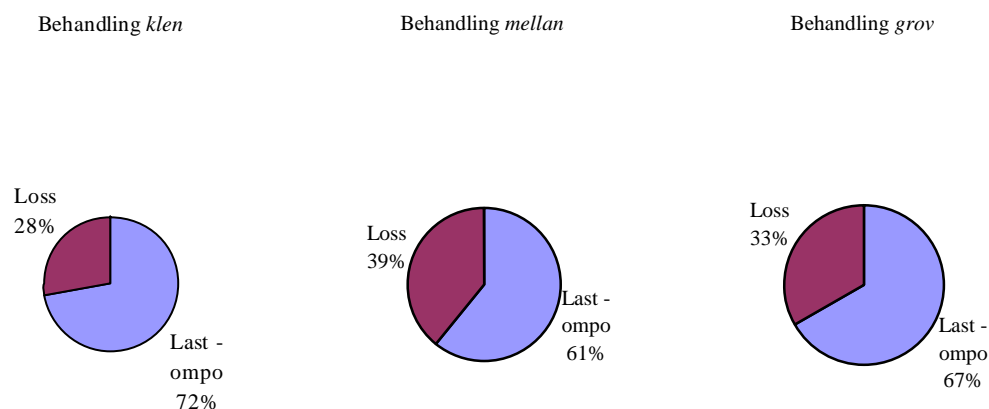
Vid analys av skotningen i form av tidsåtgång per ton TS var tidsåtgången signifikant högre för behandling *klen* än behandling *mellan* (Tukey-test, $p = 0,0052$) och *grov* (Tukey-test, $p = 0,0034$) (tabell 12). Arbetsmoment lastning-ompositionering tog betydligt längre tid per ton TS för behandling *klen* än för behandling *mellan* (Tukey-test, $p = 0,0033$) och *grov* (Tukey-test, $p = 0,0030$). Arbetsmomentet lastning - ompositionering upptog cirka två tredjedelar av den studerade tiden (G_0 -tim/ha). Fördelningen mellan de olika momenten framgår av figur 6.

Tabell 12. Tidsåtgången för skotningsarbetsmomenten (medel och standardavvikelse (SA)) fördelade på behandling (G_0 min/tonTS)

Table 12. Time consumption for forwarding work elements (mean and standard deviation (SA)) over treatments (E_0 min/tonTS)

Behandling	Lastning - ompositionering		Lossning		Totalt	
	Medel	SA	Medel	SA	Medel	SA
<i>klen</i>	6,5 ^a	1,0	2,4 ^a	0,9	8,9 ^a	1,4
<i>mellan</i>	2,5 ^b	0,9	1,6 ^a	0,6	4,1 ^b	1,1
<i>grov</i>	2,5 ^b	0,5	1,3 ^a	0,4	3,7 ^b	0,8

Inom kolumner är värden med olika upphöjda bokstäver signifikant skilda åt ($p < 0,05$)



Figur 6. Tidsåtgångens (G_0 -tim/ha) relativa fördelning över arbetsmoment för de olika behandlingarna. Förkortningarnas betydelse: last-ompo = lastning och ompositionering, loss = lossning.

Figure 6. The relative distribution of forwarding work time (E_0 hour/ha) over work elements and treatments. Abbreviation key: last- ompo =loading -repositioning, loss =unloading.

3.1.3 Flisning

Tidsåtgången per hektar var signifikant högre för behandling *klen* än för behandling *mellan* (Tukey-test, $p=0,0011$) och behandling *grov* (Tukey-test, $p=0,0023$) (tabell 13). Den genomsnittliga tidsåtgången för alla parcellerna var 5 timmar och 24 minuter G_0 -tid/ha med en standardavvikelse på 1 timme och 42 minuter. Tidsåtgången per ton TS visade inte på några signifikanta skillnader mellan de olika behandlingarna.

Tabell 13. Tidsåtgången för flisning (medel och standardavvikelse (SA)) fördelade på normeringsbas och på behandling

Table 13 Time consumption for chipping (mean and standard deviation (SA)) over normalisation bases and treatments

Behandling	G ₀ tim/ha		G ₀ min/tonTS	
	Medel	SA	Medel	SA
<i>klen</i>	3,3 ^a	0,5	5,4 ^a	1,3
<i>mellan</i>	6,7 ^b	0,8	4,7 ^a	1,1
<i>grov</i>	6,2 ^b	0,4	3,9 ^a	0,6

Inom kolumner är värden med olika upphöjda bokstäver signifikant skilda åt ($p < 0,05$)

3.2 Jämförelse av de olika metoderna för skattning av TS-mängd och dess effekt på arbetets produktivitet

3.2.1 TS-utfall vid olika skattningsmetodik

Oavsett funktionsbas gav skattning baserad på inventering högre värden än vid invägning i två tredjedelar av parcellerna. Jämfört mot invägda värden gav skattning enligt Marklunds (1988) funktion värden som var 9,9 – 70 % högre, medan skattning enligt Ulvcronas funktion (2008, pers. komm.) gav värden som var 2,9 – 61,9 % högre än de invägda värdena. De tre parceller som hade lägre mängd funktionsberäknad biomassa än invägd biomassa var parcell 8 och 9 i behandling *klen* och parcell 4 i behandling *mellan*. Jämfört med invägningen gav Marklunds (1988) och Ulvcronas funktion (2008, pers. komm.) 0,4 – 4 % respektive 5,2 – 12,5 % lägre värden i de tre parcellerna.

Oberoende av skattningsmetod innehöll behandling *klen* mindre TS-mängd per hektar än övriga behandlingar (Tukey-test, $p \leq 0,0236$). Mellan behandling *mellan* och *grov* fanns dock ingen signifikant skillnad i TS-mängd.

Tabell 14. Torrsubstansmängd biomassa (medel och standardavvikelser (SA)) fördelade på skattningsmetoder och behandling

Table 14. Dry biomass quantities (mean and standard deviation (SA)) over estimation methods and treatments

Behandling	Marklund (ton TS/ha)		Ulvcrona (ton TS/ha)		Invägt (ton TS/ha)	
	Medel	SA	Medel	SA	Medel	SA
<i>klen</i>	44,1 ^a	10,1	42,0 ^a	10,6	37,7 ^a	7,3
<i>mellan</i>	111,2 ^b	19,9	103,0 ^b	19,9	87,3 ^b	12,4
<i>grov</i>	137,7 ^b	22,7	131,6 ^b	26,8	97,4 ^b	18,9

Inom kolumner är värden med olika upphöjda bokstäver är signifikant skilda åt ($p < 0,05$)

3.2.2 Skörd

Maskinens produktivitet visade oberoende av skattningsmetod på signifikanta skillnader mellan samtliga behandlingar (Tukey-test, $p \leq 0,0373$). Produktiviteten vid skörd blev i genomsnitt över alla parceller 3,4 ton TS/G₀-tim baserat på både Marklunds (1988) och Ulvcronas funktioner och 2,7 ton TS/G₀-tim baserat på det invägda materialet.

Tabell 15. Produktivitet vid skörd (medel och standardavvikelse (SA)) fördelade på behandling och metod för skattning av mängd TS

Table 15. Productivity of harvest (mean and standard deviation (SA)) over treatments and methods of dry matter estimation (tonTS/E₀hour)

Behandling	Produktivitet (ton TS/G ₀ -tim)					
	Marklund		Ulvcrona		Invägt	
	Medel	SA	Medel	SA	Medel	SA
<i>klen</i>	1,5 ^a	0,5	1,5 ^a	0,5	1,3 ^a	0,1
<i>mellan</i>	3,5 ^b	0,4	3,2 ^b	0,4	2,7 ^b	0,4
<i>grov</i>	5,9 ^c	0,7	5,7 ^c	0,9	4,2 ^c	0,7

Inom kolumner är värden med olika upphöjda bokstäver är signifikant skilda åt ($p < 0,05$)

3.2.3 Skotning

Produktiviteten baserad på mängden TS skattad enligt Marklunds (1988) funktion och enligt invägning visade på signifikanta skillnader mellan behandling *klen* och behandling *grov* (Tukey-test, $p = 0,0466$) (tabell 16). Baserat på mängden invägt TS var dessutom skillnaden mellan behandling *klen* och *mellan* precis utanför den satta gränsen för signifikanta skillnader (Tukey-test, $p = 0,0516$). När produktiviteten baserades på Ulvcronas (2008, pers. komm.) funktion återfanns inga skillnader mellan behandlingarna.

Tabell 16. Produktiviteten vid skotning (medel och standardavvikelse (SA)) fördelade på de olika behandlingarna och de olika beräknings modellerna (tonTS/G₀tim)

Table 16. Productivity for forwarding (mean and standard deviation (SA)) over treatments and methods of dry matter estimation (tonTS/E₀hour)

Behandling	Produktivitet (ton TS/G ₀ -tim)					
	Marklund		Ulvcrona		Invägt	
	Medel	SA	Medel	SA	Medel	SA
<i>klen</i>	8,3 ^a	3,0	7,8 ^a	2,8	6,9 ^a	1,1
<i>mellan</i>	20,0 ^{ab}	8,3	18,6 ^a	8,0	15,4 ^{ab}	4,8
<i>grov</i>	23,7 ^b	5,6	22,7 ^a	6,3	16,6 ^b	3,3

Värden med olika upphöjda bokstäver inom kolumner är signifikant skilda åt ($p < 0,05$)

3.2.4 Flisning

Flisningsproduktiviteten i termer av ton TS per G₀-timme uppvisade inga signifikanta skillnader mellan de olika behandlingarna oavsett skattningsmetodik.

Tabell 17. Produktiviteten vid flisning (medel och standardavvikelse (SA)) fördelade på de olika behandlingarna och de olika beräkningsmodellerna (tonTS/G₀tim)

Table 17. Productivity for chipping (mean and standard deviation (SA)) over treatments and methods of dry matter estimation (tonTS/E₀hour)

Behandling	Produktivitet (ton TS/G ₀ -tim)					
	Marklund		Ulvcrona		Invägt	
	Medel	SA	Medel	SA	Medel	SA
1	13,2 ^a	1,3	12,6 ^a	1,3	11,6 ^a	2,5
2	15,9 ^a	3,4	15,8 ^a	5,3	13,3 ^a	3,1
3	22,4 ^a	4,4	23,1 ^a	7,9	15,7 ^a	2,4

Värden med olika upphöjda bokstäver inom kolumner är signifikant skilda åt ($p < 0,05$)

3.3 Analys av skördeproduktivitets beroende av beståndsvariabler

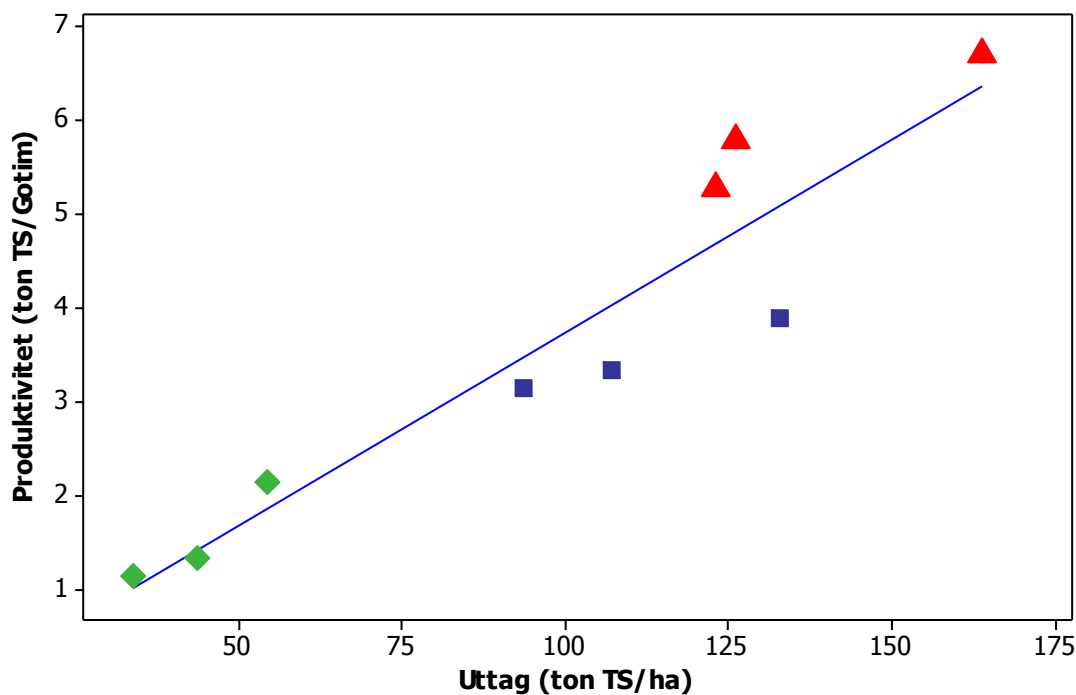
Produktiviteten (ton TS/G₀tim) uppvisade ett signifikant positivt samband med mängd biomassa per hektar beräknad enligt Marklunds funktion (1988) ($p=0,000$) (figur 7). Skillnad i samband beroende på om produktiviteten baserades på TS mängd beräknad enligt Marklunds eller Ulvcronas funktioner var små. Baserad Marklunds (1988) funktion var produktiviteten (ton TS/G₀tim)

$$P_M = 0,0413M - 0,393 \quad [5]$$

där M är mängden biomassa per hektar (ton TS). Regressionsfunktionen förklarade andel av variationen (R^2) uppgick till 86,9 %. Motsvarande funktion enligt Ulvcronas biomassafunktion (2008. pers. komm.) var

$$P_U = 0,0400M - 0,465 \quad [6]$$

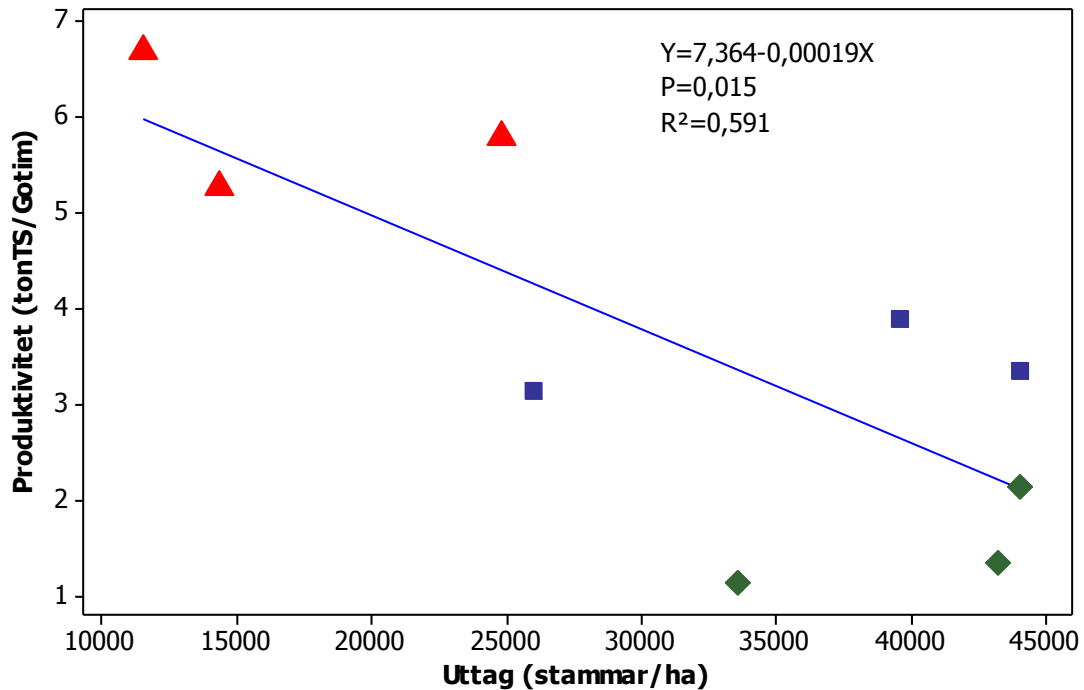
med $p=0,000$ och en förklaringsgrad (R^2) på 86,2 %.



Figur 7. Produktiviteten som funktion av uttagen mängd biomassa enligt Marklunds (1988) funktion. \blacklozenge = klen \blacksquare = mellan \blacktriangle = grov

Figure 7. Productivity as function of dry biomass quantity removed according to Marklunds (1988) function. \blacklozenge = thin \blacksquare = medium \blacktriangle = thick

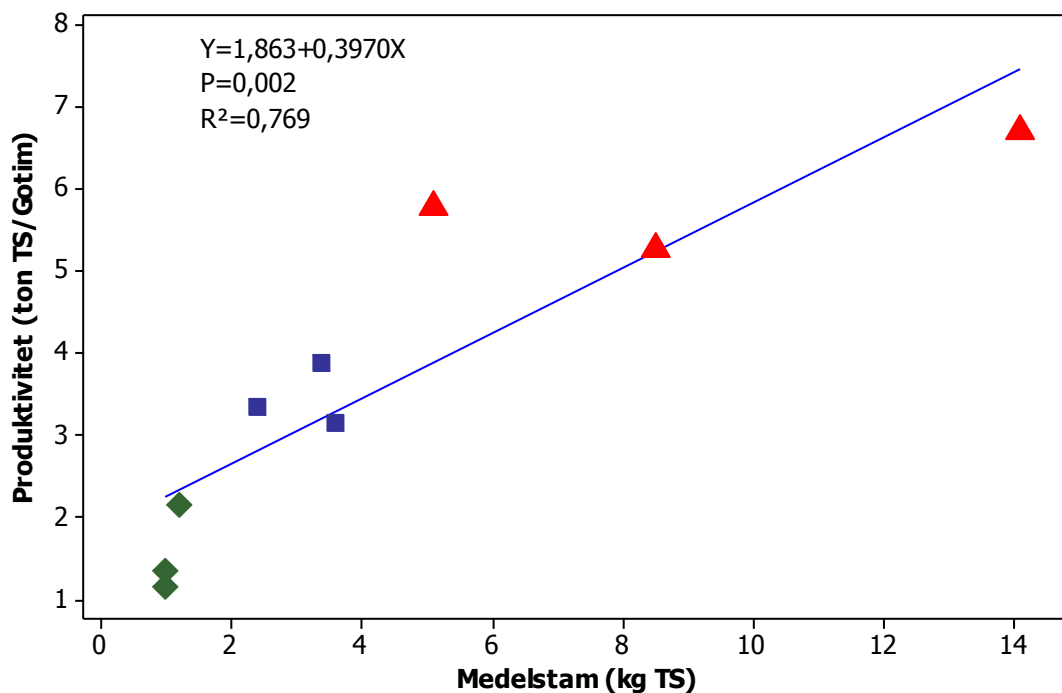
Ett signifikant negativt samband återfanns mellan produktiviteten (ton TS/G₀tim) och uttaget definierat som antalet stammar per hektar (Fig. 8). Fler stammar per hektar resulterade således i lägre produktivitet.



Figur 8. Produktiviteten (ton TS/G₀tim) som funktion av uttaget stamantal enligt Marklunds (1988) funktion, \blacklozenge = klen \blacksquare = mellan \blacktriangle = grov.

Figure 8. Productivity, according to Marklunds (1988) biomass function, as a function of number of harvested trees/ha, \blacklozenge = thin \blacksquare = medium \blacktriangle = thick.

Produktiviteten (ton TS/G₀tim) uppvisade ett signifikant (p=0,002) samband med det skördade beståndets biomassamedelstam (kg TS). Produktiviteten ökade således med ökande beståndsmedelstam (Fig. 9).



Figur 9. Produktiviteten (tonTS/G₀tim) som en funktion av beståndsmedelstammen enligt Marklunds (1988) funktion. ◆ = klen ■ =mellan ▲ = grov.

Figure 9. Productivity as a function of mean tree size according to Marklunds (1988) function. ◆ = thin ■ =medium ▲ = thick.

3.4 Lönsamhetsanalys

De ekonomiska beräkningarna för behandling *klen* resulterade i ett negativt netto per hektar (tabell 18). Den största enskilda kostnaden för denna behandling var skörden. För behandlingarna *mellan* och *grov* uppvisades ett positivt resultat. Även för dessa behandlingar var skörden en stor kostnadspost tillsammans med flisningen som ökade med ökad medelstam och mängd TS. Den ökande mängden TS resulterade dock i att intäkterna från flisen ökade mer än kostnaderna och resulterade därför i ett positivt netto för behandling *mellan* och *grov*.

Tabell 18. Den mekaniserade skördens ekonomiskt utfall (medel och standardavvikelse (SA)) fördelat på åtgärd och behandling (kr/ha)

Table 18. Costs and income (mean and standard deviation (SA)) for mechanised harvest over activity and treatments (SEK/ha)

Ekonomisk post	Behandling					
	klen		mellan		grov	
	Medel	SA	Medel	SA	Medel	SA
<i>Kostnad</i>						
Skörd	27 882	3 565	30 444	2 055	22 065	1 254
Skotare	5 448	1 765	5 672	1 149	5 665	393
Flisning	10 792	2 098	24 954	3 541	27 860	5 392
Flistransport	3 824	828	6 692	828	8 604	1 434
Total kostnad	47 946	7 712	67 762	4 253	64 194	7 819
<i>Intäkt</i>						
Flis	38 213	7 429	88 361	12 540	98 650	19 093
<i>Netto</i>	-9 749	1 672	20 599	8 436	34 457	11 270

Det ekonomiska utfallet blev liknande när de ekonomiska posterna normeras mot mängd skördad biomassa beräknad enligt lastbilsvägning (kr/ton TS) (tabell 19) eller dess energiinnehåll (kr/MWh) (tabell 20). Jämfört med normeringen mot arealen blev den stora skillnaden att kostnaden för flisning samt intäkten från flisen blir konstant oavsett mängden för respektive behandling. Detta beror på att denna kostnad respektive intäkt utgår från flisens volym respektive energiinnehåll (Tabell 8), vilka är direkt överförbara till ton TS respektive MWh via omräkningsfaktorer (stycke 2.5).

Tabell 19. Den mekaniserade skördens ekonomiska utfall (medel och standardavvikelse (SA)) fördelat på åtgärd och behandling (kr/ton TS)

Table 19. Costs and income (mean and standard deviation (SA)) for mechanised harvest over activities and treatments (SEK/tonTS)

Ekonomisk post	Behandling					
	klen		mellan		grov	
	Medel	SA	Medel	SA	Medel	SA
<i>Kostnad</i>						
Skörd	746	68	354	59	231	38
Skotare	142	21	66	18	60	13
Flisning	286	-	286	-	286	-
Flistransport	102	18	77	2	89	6
Total kostnad	1 276	62	783	70	666	54
<i>Intäkt</i>						
Flis	1 013	-	1 013	-	1 013	-
<i>Netto</i>	-263	62	230	70	347	54

Tabell 20. Den mekaniserade skördens ekonomiska utfall (medel och standardavvikelse (SA)) fördelat på respektive åtgärd och behandling (kr/MWh)

Table 20. Costs and income (mean and standard deviation (SA)) for mechanised harvest over activities and treatments (SEK/MWh)

Ekonomisk post	Behandling					
	<i>klen</i>		<i>mellan</i>		<i>grov</i>	
	Medel	SA	Medel	SA	Medel	SA
<i>Kostnad</i>						
Skörd	140	13	66	11	43	7
Skotare	27	4	12	3	11	2
Flisning	54	-	54	-	54	-
Flistransport	19	3	14	-	17	1
Total kostnad	239	12	147	13	125	10
<i>Intäkt</i>						
Flis	190	-	190	-	190	-
<i>Netto</i>	-49	12	43	13	65	10

4 Diskussion

Vid skörden så fanns det inte så stora skillnader i tidsåtgången per hektar mellan de olika behandlingarna, vilket indikerar att tidsåtgången främst beror av den areal som måste skördas och inte volymen som återfinns på arealen. Om man istället tittar till tidsåtgång per ton TS så tar det däremot dubbelt så lång tid att skörda i behandling *klen* jämfört med i behandling *mellan* och tre gånger så lång tid att skörda i behandling *klen* jämfört med i behandling *grov*. Det arbetsmoment som tog enskilt längst tid var ackumuleringen. Behandling *klen* hade flest stammar per hektar men då dessa stammar var klena kunde flera stammar ackumuleras inför varje nedläggning (krancykel). Trots det höga stamantalet hade behandling *klen* därför minst antal nedläggningar per hektar. Flest nedläggningar per hektar återfanns i behandling *mellan*, då även denna behandling hade många stammar per hektar men dessa var av grövre dimension och därför kunde inte ett lika stort antal ackumuleras inför varje nedläggning. Trots den goda ackumuleringen i stamtäta behandling *klen* minskade produktiviteten (ton TS/G₀-tim) med ökat antal stammar per hektar. Detta förklaras troligtvis av att mängden TS per träd generellt minskade med ökad stamtäthet i studien, vilket bekräftades av att produktiviteten (ton TS/G₀-tim) ökade med ökad beståndsmedelstam (kg TS). Det tog således längre tid per träd att skörda få grova träd men dessa träds högre biomassainnehåll kompenserade detta. Vid skörden var produktiviteten i genomsnitt 2,7 ton TS per G₀-timme för samtliga behandlingsenheter. Detta kan jämföras med produktiviteten vid studier av ackumulerande aggregat gjorda i röjnings- och gallringsbestånd där produktiviteten låg mellan 0,5-2 ton TS/G₀timme (Tab. 1). Det innebär att produktiviteten i studien var mellan 35 och 135 % procent högre än i tidigare studier. Ökningen borde kunna förklaras av att trädval undviks och att skörden kan göras med strikt arealsinriktning. Detta är i linje med en studie gjord av Bergstöm et al. (2007) som visar att upp till en viss stamvolym är skördeteknik baserad på att skörda en given area mer kostnadseffektivt än att skörda enstaka utvalda träd. Enligt deras simulering beräknades en produktivitetsökning på ca 30 % uppnås med den arealinriktade arbetsmetodiken.

Tidsåtgången per hektar vid skotningen visade inte på några skillnader mellan behandlingarna. Det berodde troligtvis på att det oavsett behandling lades upp endast tre till fyra högar att lasta per parcell. Varje hög kunde lastas med en grip (krancykel), men i behandlingarna *mellan* och *grov* fylldes gripen medan det i behandling *klen* fanns utrymme kvar i gripen när högen lastades. Låg produktivitet mätt i ton TS/G₀tim för behandling *klen* beror således på den låga andel TS som fanns i denna behandling. Mängden TS var knappt hälften i behandling *klen* mot de övriga behandlingarna vilket medförde att det krävdes mer än dubbelt så lång tid för att skota ihop materialet i behandling *klen* jämfört med de övriga behandlingarna

Då det i denna studie var liten mängd biomassa per hektar i behandling *klen* jämfört med de andra behandlingarna så tog det följaktligen mindre tid att flisa materialet från denna behandling, dvs. för behandling *klen* var tidsåtgången per ha låg. Om man istället ser tidsåtgång för flisning per ton TS så fanns det däremot inga skillnader mellan de olika behandlingarna. Det tar således lika lång tid att flisa klen som grovt material, under förutsättning att knivarna är vassa. Tidsstudien innefattade endast momentet flisning och inte körning till avlägg eller tömning av balja. Kostnaden för att flisa materialet ändras dock inte vid inkludering av de arbetsmomenten då betalning av arbetet sker per m³f. Det som ändras är endast produktiviteten per G₀-timme, vilken blir lägre.

4.1 Lönsamhet

För att beräkna lönsamheten ställdes intäkten för det flisade materialet mot kostnaderna för skörd, skotning, transport och flisning. Om man ser enbart till det ekonomiska nettot i dessa uträkningar var behandling *klen* inte lönsamt att skörda på detta sätt. Däremot visar studien på ett positivt netto för behandling *mellan* och *grov*. För att behandling *klen* skall ge ett nollresultat måste priset på groftflis öka från det antagna 190 kr/MWh till 238 kr/MWh, dvs. med 25 %.

4.2 Alternativa åtgärder

4.2.1 Motormanuell skörd

Ett alternativ till mekaniserad skörd är skörd genom motormanuellt röjning. Kostnaden för motormanuell röjning, skotning och flisning av samma parceller skulle medföra kostnader enligt tabell 21. Den motormanuella skördekostnaden är uträknad enligt Holmens röjningsmall, där stamantal per hektar och medelhöjd är de ingående variablerna. Den beräknade medeltidsåtgången per hektar var för behandling *klen* 23,8 timmar (SA 0,8), 24,6 timmar för *mellan* (SA 1,9) och 17,0 timmar för *grov* (SA 4,7). Timkostnaden för motormanuell skörd i denna uträkning antas till 275 kronor. Skotningstiden beräknas öka med cirka 50 % jämför med att skota efter mekaniserad skörd, då träden efter motormanuell skörd antas ligga betydligt mera utspritt. Även här har transporten vid skotning och lastbilstransporten tagits med i beräkningarna med antaganden enligt stycke 3.3.

Tabell 21. Ekonomiskt utfall (medel och standardavvikelse (SA)) vid motormanuell skörd fördelat på åtgärd och behandling (kr/ha)

Table 21. Costs and income (mean and standard deviation (SA)) for motor-manual harvest over activities and treatments (SEK/ha)

Ekonomisk post	Behandling					
	<i>klen</i>		<i>mellan</i>		<i>grov</i>	
	Medel	SA	Medel	SA	Medel	SA
<i>Kostnad</i>						
Motor manuell	6 536	281	6 800	562	4 701	1 308
Skotare	8 172	2 648	8 508	1 724	8 497	590
Flisning	10 792	2 098	24 954	3 541	27 860	5 392
Flistransport	3 824	828	6 692	828	8 604	1 434
Total kostnad	29 323	5 274	46 954	4 226	49 662	5 609
<i>Intäkt</i>						
Flis	38 213	6 830	88 361	12 540	98 650	19 093
<i>Netto</i>	8 889	2 225	41 408	8 549	48 988	13 596

4.2.2 Buskröjning

Ett annat alternativ är att buskröjning utförs inte bara ned till dikets botten utan även på motsatt slänt (Fig. 1, område A.), vilket skulle medföra cirka fyra slag med aggregatet à cirka 90 centimeter. Om man bortser från den ordinarie buskröjningen på två slag, skulle detta medföra två extra slag. Med en skördebredd på 2,5 meter på båda sidor av vägen skulle detta medföra en skattad kostnad av cirka 700 kronor per kilometer. Med denna skördebredd krävs två kilometer väg för att få ihop till en hektar arbetsyta, vilket således

innebär att kostnaden per hektar motsvarar 1 400 kronor. Buskröjning skulle innebära en kostnad utan möjlighet till intäkter då det krossade materialet lämnas att förmultna i diket. Vid kostnadsberäkningen för buskröjning var utgångsläget en nyröjd väg som buskröjdes med 3 respektive 4 års intervall under samma omloppstid som de avverkade trädens medelålder i respektive behandling. Hänsyn till kostnadsförändringar över tiden har således inte tagits. Summan av åtgärderna medför en kostnad per hektar enligt tabell 22.

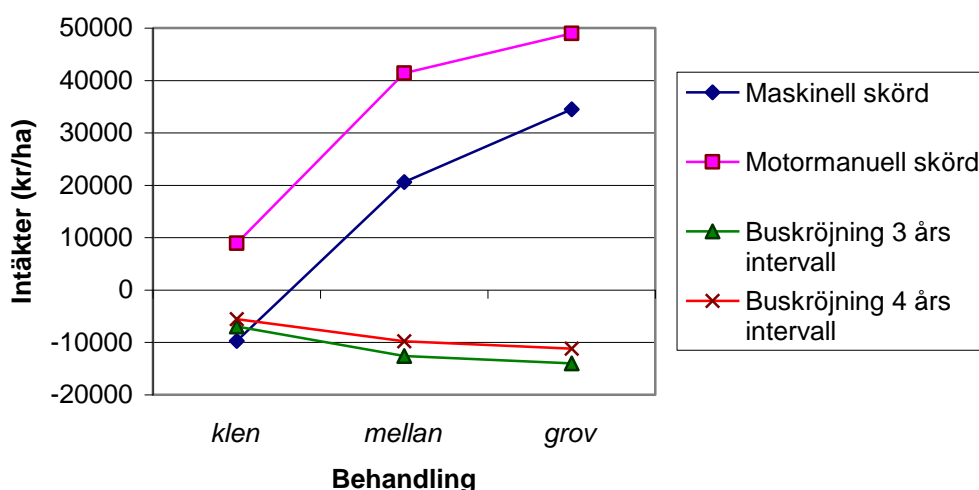
Tabell 22. Total kostnad (kr/ha) för att med olika intervall upprepat buskröja motsatt slänt (jfr Fig. 1) under en period motsvarande medelåldern på de skördade vägkantbestånden. Beräkningen grundas på en kostnad av 1 400 kr/ha och har inte tagit hänsyn till förändringar över tiden

Table 22. Total cost (SEK/ha) for repeated shrub cleaning of the opposite side of the ditch (c.f. Fig. 1) during a period of time equivalent to the mean age on the harvested trees. The input price was set to 1 400 SEK/ha with no consideration to changes over time

Behandling	Medelålder	Intervall i år	
		3	4
		kr /ha	kr/ha
<i>klen</i>	15	7 000	5 600
<i>mellan</i>	27	12 600	9 800
<i>grov</i>	30	14 000	11 200

Vid sammanställning av kostnaderna för de olika alternativen till att undanhålla trädvegetation i vägkanterna visar det sig att det billigaste alternativet är motormanuell skörd oavsett medeldiameter på beståndet (Fig. 10). Under de antaganden som gjorts är det endast motormanuell skörd som ger positivt utfall för samtliga behandling, medan övriga alternativ visar ett negativt resultat för behandling *klen*.

Det finns dock ytterligare aspekter som är viktiga att ta hänsyn till utöver åtgärdernas direkta ekonomiska utfallen. Den viktigaste punkten anses vara åtgärdernas effekt på den långsiktiga vägkvaliteten, där kostnader måste ses som en investering i vägkvalitet. I skogliga termer kan denna åtgärd liknas med röjning eller förstagallring, vilka sällan eller aldrig ger ett positivt netto, men ändå regelmässigt utförs för att det är en investering i det framtida skogsbeståndet. En aktuell fråga är därför vilka vägkvalitetsrelaterade kostnader som uppkommer om vägkanterna inte åtgärdas mer än traditionell buskröjning?



Figur 10. Intäkt (kr/ha) vid olika metoder för att undanhålla trädvegetation längs skogsbilvägar utöver de regelmässiga två slagen närmast vägbanan.

Table 10. Income (SEK/ha) generated by different methods to manage tree vegetation in the forest roads' right of way in addition to the regular tree removal within the 1.8 m closest to the road surface.

4.3 Förbättringar och egen kritik

Inför tidsstudierna hade nio parceller fördelade på tre olika behandlingar med avseende på diametern i brösthöjd identifierats. Förutsättningarna att finna likartade parceller inom behandlingen var begränsade då välgkantbestånden inte hade en likformig struktur utan var mer mosaikartade. Även inom parcellerna var beståndet mosaikartat och den resulterande variationen inom och mellan behandlingarna speglade således i stor utsträckning hur välgkanterna såg ut. På grund av variationen tvingades parcellerna i behandling *klen* att kortas till längden 20 meter mot förväntade 50 meter. Det hade varit intressant att se om tidsåtgången hade haft större variation för denna behandling om den längre sträckan hade studerats.

Det fanns vissa skillnader mellan de båda biomassafunktionerna som användes i studien. I båda funktioner utgjorde relevanta träddelar av allt ovan stubbe, med skillnaden mellan de båda funktionerna att i Marklunds (1988) funktion var inte löv/barr medräknade medan Ulvcronas funktion (2008, pers. komm.) inklusive löv/barr. Med denna förutsättning skulle man kunna förvänta sig att värdena uträknad med Ulvcronas funktion vara högre än värden uträknad med Marklunds (1988) funktioner, men så var inte fallet. I stället var det tvärtom, vilket kan bero på att Marklunds (1988) funktion är mer begränsad i användandet vid klenta diametrar medan Ulvcronas funktioner är framtagna för detta ändamål. Jämförelsen mellan mängden TS utifrån den objektiva inventeringen och den invägda mängden TS visade på en dålig korrelation dem emellan. En orsak till detta kan vara att det i funktionerna beräknas övriga lövträd (mestadels al) som björk, detta trots att de inte har samma densitet. En annan orsak kan vara en osäkerhet i den invägda mängden TS, vilken var beroende av den skattade fukthalten och denna varierade mellan parceller och inom behandlingar. Skattningarna baserades på medelvärdet av tre prov per parcell vilket ansågs ge rimlig skattningssäkerhet och en hanterbar arbetsmängd. Ett större antal prov skulle dock troligen

ge än bättre skattning av fukthalten (Nylinder & Törnmark 1986, Hägg 2008) och kanske därmed också bättre överensstämmande mellan invägt och funktionsberäknad mängd TS.

Vid rundvirkesskörd med en skördare mäts producerad volym direkt vid avverkningen men med klippande aggregat finns ännu inte något bra sätt att mäta produktionen. Det fanns ingen produktivitetsrelaterad koppling mellan aggregatet och maskinens dator vilket gjorde att datorn i den studerade skördaren gav ifrån sig en signal var 15 minut för att påpeka att inget arbete utfördes, trots att maskinen var i full produktion. Ett sätt att mäta produktiviteten vid normal drift skulle kunna vara att mäta tiden för varje krancykel eller att räkna antalet krancykler. Detta skulle kunna lösas genom att datorn registrerar när aggregatet tillas för nedläggning av ackumulerat material. I denna studie var ambitionen initialt att antal träd per ackumulering skulle räknas för att utifrån antalet registrerade nedläggningar kunna beräkna skördad mängd träd om tiltningsräkning så småningom skulle kunna ordnas. Det var dock inte möjligt att studera ackumuleringen eftersom det var svårt att hinna se samtliga träd p.g.a. lövtätheten. Ett alternativ hade varit att lägga varje ackumulering i skilda högar för att kunna kontrollräkna dem i efterhand. Detta alternativ nyttjades dock inte eftersom det skulle medföra missvisande resultat vid tidsstudien av skotningen. Att utveckla metoder för skördarmätning av produktiviteten vid denna typ av skörd, oavsett om det är längs vägkanter eller i skogsbestånd, bör dock prioriteras för att möjliggöra arbetsuppföljning och beräkningar av biomassalager längs skördade vägar.

En möjlig förändring i det studerade skördesystemet skulle vara att hoppa över momentet skotning och köra direkt med en mobil flishugg eftersom det skördade materialet ligger i lättillgängliga högarna utefter vägkanterna. Nackdelen med detta arbetssätt är att det är mindre lämpligt på vägar som trafikerats ofta och om det klippta materialet på grund av trafiksäkerhet då inte kan ligga och torka upp en viss tid innan flisningen. Kostnaderna för skotningsmomentet var cirka 5 000 kronor på hektar, men borttagandet av det arbetet skulle sannolikt innebära att flisningskostnaden skulle öka.

Eftersom den beräknade kostnaden för motormanuell skörd var låg bör de kontrolleras genom en tidsstudie av själva momentet att motormanuellt fälla träden samt skotningen. Detta motiveras av behovet att analysera om kostnaderna för en traditionell röjning i ungskog överensstämmer med en röjning längs väg, samt för att se hur mycket extra tid skotningen tar efter motormanuell skörd jämfört med mekaniserad skörd. Utifrån förutsättningarna och antaganden som är gjorda i detta arbete så skulle mekanisk skörd kräva ca 33 % längre arbetstid per hektar i jämförelse med motormanuell skörd. Det måste anses tillhöra ovanligheterna att mekanisering medför lägre produktivitet och därmed inte kunna minska arbetskraftsbehovet, Skillnaden mellan den mekaniserade och de motormanuella arbetsmetoderna är dock inte bara produktivitets- och lönsamhetsaspekten utan också vilken arbetsmetodik som gör det lättast att få personer att vilja utföra arbetet över huvud taget.

I denna studie har en Rottne H8 med ett klippande Naarva-aggregat studerats, och basmaskinens fasta hytt medförde ett arbetssätt som innebar extra körning för att kunna arbeta framför maskinen i stället för vinkelrätt mot den. Det skulle därför vara intressant att utvärdera produktiviteten vid skörd med en likadan utrustad basmaskin där hytten följer med kranen, då den extra körningen vid ompositionering skulle kunna undvikas och produktiviteten potentiellt skulle kunna höjas.

En viktig del i vägskötsel frågan bör vara att definiera vägområdets bredd och underhållsbehov utifrån att kunna bibehålla vägens funktionalitet och kvalitet. Innan detta är definierat är det svårt att analysera vilken metodik som är bäst fungerande för vägområdets skötsel. I denna studie var vägområdet 4 meter ut från vägkant. I beaktande när vägområdets bredd fastställs bör vara att för varje meter som området utökas så minskas andelen skogsmark med 1 hektar per enkelsidig mil skogsbilväg, Holmen Skog har idag ca 1 000 mil skogsbilväg, vilket innebär att varje meterförändring motsvarar 2000 hektar.

Det bör även göras en inventering av hur vägkantbeståndet längst skogsbilvägarna ser ut, vilka åtgärder som behövs och tidpunkten för dessa. För denna inventering kan information från denna studie om parcellernas egenskaper (tabell 3) och mängd biomassa (tabell 6) ligga till grund för framtida åtgärdsbeslut.

4.4 Slutsatser

Enligt denna studie var produktiviteten för en Rottne H8 med ett ackumulerande Naarva aggregat 2,7 ton TS/ha vilket i jämförelse med studier utförda i röjnings- och gallringsbestånd är en ökning av produktiviteten med mellan 35-135 %. Sett ur ett systemperspektiv är vägar kantade med mellangrova och grova bestånd (3-4 cm i brösthöjdsdiameter och ca 30 år gamla) lönsamma att skörda med det studerade systemet. Skörd av klena bestånd (2 cm och ca 15 år) resulterade dock i ett negativt netto som var sämre än kostnaden för utökad traditionell buskröjning. För att klena bestånd skulle kunna skördas till ett nollresultat med det studerade systemet behövdes flispriset höjas från det antagna 190 kr/MWh till 238 kr/MWh. Kostnaderna som uppkommer i samband med skörden skall ställas mot de eventuella kostnader som kan undvikas i framtiden på grund av vägens förbättrade långsiktiga hållbarhet. En åtgärd av vägkantbeståndet bör ses som en framtida investering i vägkvalitet.

Referenser

Litteratur

- Anon. 1997. Svensk standard SS 18 71 70, Biobränslen och torv – Bestämning av total fukthalt. Standardisering i Sverige (SIS), Stockholm.
- Anon. 2007. Skogsstatistisk årsbok. Skogsstyrelsen, Jönköping.
- Bergström, D., Nordfjell, T. 2006. Sammanställning av ackumulerande skördeaggregat för uttag av biomassa från unga skogsbestånd. SLU Institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik, Umeå.
- Bergström, D., Bergsten, U., Nordfjell, T., Lundmark, T. 2007. Simulation of geometric thinning systems and their time requirements for young forests. *Silva Fennica* 41(1), s 137-147.
- Eriksson, A. 2008. Utvärdering av subjektiv metod för att skatta mängden skoglig biomassa längs vägkanter. SLU Institutionen för skoglig resurshushållning. Arbetsrapport 234.
- Ersson, T. B. 2007. Produktivitet vid selektivt mekaniserad bioenergiröjning av eftersatta röjningsbestånd. SLU Institutionen för skoglig resurshushållning. Arbetsrapport 166.
- Gullberg, T., Johansson, J., Liss, J-E., 1998. Studie av System EnHar vid uttag av skogsenergi i unga bestånd – Hamrestudien. Högskolan Dalarna, Skogsindustriella Institutionen, Garpenberg. Arbetsdokument nr 9, 1998.
- Hammar, C-H. 2000. Timberjack 720 – Ett maskinsystem för uttag av biobränsle ur ungskog. Skogsmästarskolan, SLU, Skinnskatteberg. Examensarbete nr 13.
- Hägg, K. 2008. Mätning av träddelar och flis på Dåvamyran, Umeå energi. Examensarbete (D-uppsats). Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning, Umeå. Arbetsrapport 223.
- Kärhä, K., Jouhiahho, A., Mutikainen, A. & Mattila, S. 2005. Mechanized Energy Wood Harvesting from Early Thinnings. *International Journal of Forest Engineering* 16(1), s 15-26.
- Lindroos, O. 2008. Vägrenen är full av energi. *Vi Skogsägare* nr. 1 2008.
- Liss, J-E. 2001. Trädbränslen från skogen – teknik för skörd. Högskolan Dalarna, Skogsindustriella Institutionen, Garpenberg. Arbetsdokument nr 1, 2001.
- Marklund, L-G. 1988. Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige. Rapport nr 45. Institutionen för skogstaxering. SLU, Umeå.

Nordfjell, T., Nilsson, P., Henningsson, M. & Wästerlund, I. 2008. Unutilized biomass resources in Swedish young dense stands. Proceedings: World Bioenergy 2008, 27 - 29 May, Jönköping, Sweden. Sid. 323-325

Nylinder, M. & Törnmark, J. 1986. Mätning av bränsleflis, spån och bark. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära, Uppsala. Rapport nr 173.

Stridsman, A. 2006. Kvalitet på vägdata – inventering av skogsbilvägars standard samt jämförelser med lokal bedömning och SNVDB. SLU Studentuppsats nr 85 2006.

Elektroniska källor

Energimyndigheten 2008. Biobränsle – en av framtidens viktigaste energikällor, 2008-05-14. <http://www.energikunskap.se>

Muntliga referenser

Christoffersson, Peter. 2008. Biobränsleansvarig, Holmen Skog AB. Varvsbergsvägen 2B, 981 20 Örnsköldsvik.

Johansson, Kjell. 2008. Produktionsledare, Holmen Skog AB. Modovägen 14, 890 50 Björna.

Ulverona, Kristina. 2008. Enheten för Skoglig Fältforskning, SLU. Svartbergets Fältstation, 922 91 Vindeln.

Bilaga 1. Sammanställning över ackumulerande aggregat på den svenska marknaden hösten 2008.

Modell	Teknisk data		
	Vikt (kg)	Kapanordning	Max kapdiameter (mm)
ABAB Klippen 250	380	Klipp	250
Bracke C16 a	500	Klinga m. sågkedja	260
Dutch-Dragon FH 30-K	1080	Klipp	300
HTH 470 ¹	1080	Svärd m. sågkedja	650
4M Hamster ¹	700	Svärd m. sågkedja	470
John Deere 745 ^{1 2}	820-850	Svärd m. sågkedja	550
Valmet 330.2 Duo	750	Svärd m. sågkedja	480
Moipu 400 E	540	Klipp	300
Moipu 400 ES	650	Klipp	300
Naarva-Grip 1000-23	180	Klipp	230
Naarva-Grip 1000-23 E	220	Klipp	230
Naarva-Grip 1500-25	300	Klipp	250
Naarva-Grip 1500-25 E	360	Klipp	250
Naarva-Grip 1500-25 EH	430	Klipp	250
Naarva-Grip 1500-40	400	Klipp	300-400
Naarva-Grip 1500-40 E	550	Klipp	300-400
Naarva-Grip 1600-40	600	Klipp	300-400
Nisula 280 E	290	Klipp	200
Nisula 400 C	425	Klipp	400
Pinox 220	450	Klipp	220
Ponsse EH 25	490	Klipp	250
Risutec M 50	400	Klipp	250-300
Saxum K 250	500	Klipp	250

¹Utrustade med kvistningsknivar och matarrullar

²Kan utrustas med extra griparmar för ackumulering

Bilaga 2. Arbetsmoment för tidsstudie av skörd

Arbetsmoment	Momentgränser	Prioritets- ordning
Kran ut tom	Från att högen lagts på marken tills griparmarna öppnats	1
Kran in lastad	Från att sista trädet hade avskiljts tills aggregatet hade lagt högarna på marken, inkl tillrättläggande	1
Klippning/ackumulering	Från första stammen har omslutits helt tills det sista trädet avskiljts (inklusive kranens rörelse till de andra träden under ackumuleringsfasen)	1
Ompositionering	All maskinkörning kortare än 10 m	2
Störning	När träd tappades och plockades upp igen eller losskapning av rotklumpar. Extra kapningar	2
Avbrott	Störningar som inte ingick i verktiden (telefonsamtal, maskinfel mm.)	3

Bilaga 3. Arbetsmoment för tidsstudie av skotning

Arbetsmoment	Momentgränser	Prioritets- ordning
Lastning - Ompositionering	Startar när kranen börjar röra sig, omfattar rörelse till trädhög, gripning samt intag och lossning på lass. Slutar när gripen är öppen och tom. Framflyttning av ekipage mellan uppställningsplatser vid lastning	1
Lossning	Startar när kranen börjar röra sig, omfattar rörelse till lasset, gripning samt avläggning på välta. Slutar när gripen är öppen och tom.	1

Bilaga 4. Arbetsmoment för tidsstudie av flisning

Arbetsmoment	Momentgränser	Prioritetsordning
Flisning	Startar när kranen börjar röra sig, omfattar rörelse till trädhög, gripning samt flisning. Slutar när flistrumman är tom.	1