



Stubbtransporter - en jämförelse av tre olika transportsystem

Transport of stump wood - a comparison of three different transport systems



Karl Noro Larsson

**Arbetsrapport 320 2011
Examensarbete 30hp D
Jägmästarprogrammet**

**Handledare:
Dimitris Athanassiadis**

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



ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR-320-SE

Stubbtransporter - en jämförelse av tre olika transportsystem

*Transport of stump wood - a comparison of three different transport
systems*

Karl Noro Larsson

Examensarbete i Skogshushållning vid inst för skoglig resurshushållning, 30 hp
jägmästarprogrammet
EX0628

Handledare: Dimitris Athanassiadis, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, teknologi
Examinator: Tomas Nordfjell, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, teknologi
Extern handledare: Mikael Forsman, Norra Skogsägarna

Förord

Detta examensarbete har gjorts inom ramen för Jägmästarprogrammet vid Sveriges Lantbruksuniversitet och omfattar 30 hp på D-nivå. Examensarbetet har utlysts av Norra Skogsägarna som en del av de försök med stubblyftning som bedrivits inom Projekt Bioenergigårdar.

Jag riktar ett stort tack till min handledare Dimitris Athanassiadis och Magnus Matison vid Institutionen för Skoglig Resurshushållning för hjälp och synpunkter under arbetets gång. Ett tack riktas också till Jan Persson, åkare, MTAB och Per Johansson, VD, Norrlandsjord för deras hjälpsamhet och synpunkter. Sist men inte minst vill jag också tacka Mikael Forsman som varit min handledare från Norra Skogsägarnas sida för hjälp med material och beskrivningar.

Karl Noro-Larsson

Umeå, mars 2011.

Sammanfattning

I Sverige har efterfrågan på bioenergi ökat de senaste åren till följd av den rådande energi- och klimatdebatten. År 2008 var energitillförseln till Sverige 612 TWh, biobränslen stod för 123 TWh av dessa. Stubbar är ett bränslesortiment som blivit uppmärksammat de senaste åren och Skogsstyrelsen räknar med en teknisk och biologisk möjlig potential på 20,7 TWh årligen mellan år 2010 och 2019. Idén med att ta vara på stubbar är inte ny. Under 1800-talet användes stubbar för framställning av tjära och under 70- och 80-talet gjordes försök med att använda stubbar i massaindustrin. Inom Projekt Bioenergiårdar som löper mellan 2008 och 2011 har i Norra Skogsägarnas regi försök med stubblyftning gjorts.

Målet med examensarbetet var att för Norra Skogsägarnas räkning undersöka hur faktorerna transportavstånd, objektstorlek och stubbmängd per ha påverkar kostnaden för tre olika transportsystem.

Ett system där stubbarna grovkrossas vid avlägg i skogen var billigast och lönsamt upp till ca 84 km. Ett system där stubbarna krossas på terminal innan de körs till värmeverk var bara lönsamt upp till 9 km. Att köra stubbarna hela till värmeverket var lönsamt upp till ca 22 km. För alla systemen spelade dock objektstorleken en stor roll men den avgörande faktorn var stubbmängden per ha. Även lyftningskostnaden, skotningskostnaden och fukthalten hade en stor inverkan på den totala systemkostnaden.

Stubbvolymen (m^3_f) för objekten i studien var i genomsnitt 35 % av den avverkade stamvedsvolymen (m^3_{fub}).

Nyckelord: Stubbar, skogsbränsle, transport, systemanalys.

Abstract

In Sweden, the demand for bio energy has increased in recent years due to the current energy and climate debate. In 2008, the energy supply of Sweden was 612 TWh, biofuels accounted for 123 TWh of these. Stumps have been highlighted as a potential fuel in recent years and the Swedish Forest Agency expects a technically and biologically feasible potential of 20.7 TWh annually between 2010 and 2019. The idea of utilize stumps is not new. During the 19th century stumps were used for tar production and during the 70's and 80's attempts were made to use stumps in the pulp industry. Recent tests with stump lifting for energy use have been done within the Project Bioenergy Farms which runs from 2008 to 2011. Norra Skogsägarna (a forest owners association in he north of Sweden) has had the responsibility for these tests within the project.

The aim of the thesis was for the behalf of Norra Skogsägarna examine how the factors transportation distance, object size and quantity of stumps per hectare affected the costs of three different transport systems.

A system where the stumps coarse crushed at the road side was the cheapest system and profitable up to about 84 km. A system where the stumps were crushed at a terminal before transport to the heating plants were only profitable up to 9 km. Delivering stumps uncrushed directly from the forest to the heating plant was profitable up to about 22 km. For all systems, however, the size of the site played a large role but the most important factor was the amount of stumps per hectare. Also lifting cost, hauling cost and moisture content had a significant impact on the total system cost.

The lifted stump volume (m^3f) was on average 35% of the harvested stem-wood volume (m^3fub).

Keywords: Stumps, wood fuel, transportation, systems.

Innehållsförteckning

Förord	1
Sammanfattning	2
Abstract.....	3
1. Inledning.....	5
1.1. Bioenergi från skogen.....	5
1.2. Stubbpotentialen och stubbvedens bränsleegenskaper	5
1.3. Historik	6
1.4. Stubblyftning inom Norra Skogsägarna	6
1.5. Mål med examensarbetet	8
2. Material och metod.....	9
2.1. Allmänt	9
2.2. Systemanalys	9
2.2.1. Uppföljning av stubblyftning och stubbskotning	10
2.2.2. Fukthalt, askhalt, kg/m ³ f och effektivt värmevärde	11
2.2.3. Kostnadsuppgifter.....	13
2.2.4. Känslighetsanalys och verkliga objekt	14
2.3. Skattning av stubbmängd/ha.....	14
3. Resultat	15
3.1. Systemanalys	15
3.1.1. Kostnadsfördelning för medelobjektet	15
3.1.2. Transportavstånd, objektsstorlek och tillgänglig stubbmängd per ha	16
3.1.3. Känslighetsanalys	18
3.2. Skattning av stubbmängd/ha.....	21
4. Diskussion	22
4.1. Material och metod	22
4.2. Resultat	23
4.3. Framtiden	26
4.4. Slutsatser.....	27
Referenser.....	28
Bilaga 1: Stubbkalk-instruktion.....	30
Bilaga 2.....	33

1. Inledning

1.1. *Bioenergi från skogen*

I Sverige har efterfrågan på bioenergi ökat de senaste åren som en följd av den rådande energi- och klimatdebatten. En omställning till bioenergi skulle, samtidigt som utsläppen av växthusgaser minskar också öka Sveriges självförsörjningsgrad av energi. Sveriges energitillförsel år 2008 var 612 TWh och av dessa kom 123 TWh från biobränslen (Anon, 2009a). Skogsbränslen är i dag det tredje största sortimentet från skogen (Egnell, 2009) och efterfrågan antas fortsätta öka (Anon, 2007a). Som skogsbränsle räknas trädbränslen som kommer direkt från skogen (primärt skogsbränsle) samt restprodukter från sågverksindustrin (sekundärt skogsbränsle) (Egnell, 2009).

Den fysiskt möjliga potentialen för GROT (grenar och toppar) och stubbar beräknas under perioden år 2000 till 2050 till 120 TWh årligen (Egnell, 2008). Potentialen avser både slutavverkning och gallring. I dagsläget tas ca 8 – 9 TWh ut i form av GROT medan stubbar enbart tas ut i begränsad omfattning och ofta på försöksnivå (Egnell, 2008).

1.2. *Stubbpotentialen och stubbvedens bränsleegenskaper*

Om man tittar närmare på sortimentet stubbar finns det enligt Skogsstyrelsens beräkningar en fysiskt möjlig potential på totalt ca 57,5 TWh årligen mellan 2010 och 2019 (Anon, 2008). Detta avser både slutavverkningar och gallringar. Räknar man med de ekologiska och tekniska restriktioner som Skogsstyrelsen satt upp återstår ca 20,7 TWh.

Restriktionerna är följande:

- Ingen stubblyftning inom reservat eller hänsynsmark.
- Ingen stubblyftning på ytor inom 25 m från annat ägoslag än produktiv skogsmark.
- Ingen stubblyftning på torvmarker, blöta marker eller fuktiga marker med låg bärighet.

Skogsstyrelsen räknar med att 40 % av tall- och granstubbar lämnas samt att alla lövstubbar lämnas. Bestånd mindre än 1 ha och bestånd med ytstruktur och lutningsklass 4 och 5 har också räknats bort (Anon, 2008).

Att stubbar har en stor potential som biobränsle står klart även om stubblyftning i dagsläget enbart sker i begränsad utsträckning. Enligt skogsstyrelsen kommer stubbskörd de närmaste åren att beröra ca 10 000 – 20 000 ha eller 5 -10 % av den årliga slutavverkningsarealen (Anon, 2009b).

För bioenergiändamål är det främst tall- och granstubbar som är intressant, detta för att barrträd är dominerande men även för att dessa är mindre viktiga för den biologiska mångfalden (Anon, 2009b).

Stubbveden har vid lyftning en fukthalt på ca 50 % men den sjunker efter bara någon månad till ca 30 % (Anerud, 2010; Laurila & Lauhanen, 2010). Ett av de största problemen vid förbränning av stubbved är höga halter av föroreningsaska (mineraljord och

andra yttre föroreningar). Askan sänker det effektiva värmevärdet och innebär problem för värmeverken som måste lägga extra resurser på hantering av askan. Problemet med föroreningar minskar med all typ av hantering och lagring. Eftersom askhalten till stor del är beroende av hur stubbarna hanterats varierar denna mycket från fall till fall, tidigare studier har visat på askhalter mellan 5 och 25 % (Lindberg, 2008; Anerud, 2010). Vid hantering och lagring tillåts stubbveden torka samtidigt som föroreningar lossnar, vilket påverkar det effektiva värmevärdet positivt (Anerud, 2010). Energiinnehållet i absolut torr och föroreningsfri stubbved har visat sig vara i medeltal 19,5 MJ/Kg TS (Lindberg, 2008; Strömberg, 2008) men upp till 20,2 MJ/kg TS har uppmätts (Anerud, 2010). Motsvarande värde för stamved är 19,2 MJ/kg TS (Ringman, 1995).

1.3. Historik

Att ta vara på stubbar är inte någon ny idé: Under 1800- talet var tjärframställning från stubbar en viktig inkomstkälla i de norra delarna av landet (Anon, 2009b) Under 70- och 80-talet blev stubbar på nytt en intressant resurs och en hel del forskning bedrevs, bland annat inom Projekt helträdsutnyttjande (PHU) (Anon, 1977). Tanken var då att stubbved skulle användas som komplement till massaved men det fanns även tankar på att använda stubbved som bränsle. Stubbarna levererades till Mackmyra Cellulosafabrik och olika system för skörd och vidaretransport testades. Stubbmaterialet innehöll dock mycket mineraljord och sten vilket ledde till höga rensningskostnader och i slutändan dålig lönsamhet. Detta gjorde att fabriken stängdes i slutet på 80-talet. Tanken på att använda stubbar för energiändamål fanns kvar men med den tidens energipriser var det inte ett lönsamt alternativ (Anon, 2009b).

Resultaten från PHU visade på att föroreningar och materialets bulkiga karaktär var de största problemen för totalekonomin och i synnerhet för transportekonomin eftersom det gav dåligt lastutnyttjande hos lastbilarna. Olika sätt att komma till rätta med problemet testades. Det var olika metoder för rensning av stubbvirket, olika grad av sönderdelning samt packning/stuvning av stubbmaterialet i lastutrymmet på lastbilen. Genom stuvning och packning kunde lastkapacitetsutnyttjandet ökas med upp till 60 % och transportkostnaderna sänkas med 20 – 40 %. Vidare studier pekade på att den bästa transportekonomin erhöles med stora ekipage (Carlsson, m. fl. 1980).

Lindberg (2008) jämförde för Holmen Skogs räkning kostnaderna för 4 olika transportsystem för stubbar från skogen till värmeverk. Lindberg kom fram till att direkttransport av hela stubbar var billigast upp till ca 70 km, därefter blev det lönsamt att krossa stubbarna vid avlägg innan de transporterades till värmeverket. Ett system där stubbarna krossades vid terminal testades också men var alltid något dyrare än vid krossning på avlägg. Terminalsystem med tågtransport var det bästa alternativet vid transportavstånd över 250 km. (Lindberg, 2008)

1.4. Stubblyftning inom Norra Skogsägarna

Projekt bioenergiårdar startade 2008 och löper fram till 2011. Projektet finansieras och genomförs tillsammans med Energimyndigheten, Skellefteå Kraft, Umeå Energi, LRF, Nutek, Länsstyrelsen AC län, SLU Röbbäcksdalen, Hushållningssällskapet och Norra

Skogsägarna. Ett av huvudsyftena är att öka produktionen av biomassa för energiändamål från både skog och åkermark. För den skogliga delen ansvarar Norra Skogsägarna och här ingår bl.a. försök med stubblyftning (Anon, 2010). Under barmarksäsongerna 2009 och 2010 lyftes stubbar på ca 250 respektive 75 hektar (Forsman, m. fl. 2010).

Lyftningen görs med ett grävmaskinsmonterat stubblyftningsaggregat som lyfter och i vissa fall även klyver stubbarna. I samband med stubblyftningen görs en markberedning. Produktiviteten för stubblyftning har i tidigare studier visat sig ligga mellan 4 – 7,7 råton per G_0 -timme (Hofsten, 2006; Karlsson, 2007; Hedman, 2008). Tidsåtgången har i tidigare studier varierat mellan 9,3 – 16,4 G_0 -timmar/ha (Karlsson, 2007; Hedman, 2008).

Skotning sker med en skotare som anpassats för skotning av stubbar, s.k. stubbskotare. Karlsson (2007) visade på produktivitet mellan 11,5 och 18,1 råton/ G_0 -timme motsvarande tidsåtgång var 1,6 – 3,4 G_0 -timmar/ha. Hedman (2008) visade på en tidsåtgång för skotningen på 7,0 G_0 -timmar/ha. I Hedmans studie var skotningsavståndet 700 meter i Karlsons arbete fanns inga uppgifter om skotningsavståndet.

Vidaretransport och upparbetning av stubbarna sker i dagsläget enligt 3 olika system (Forsman, 2010, pers. komm.) (tabell 1).

Tabell 1. Ingående moment i de tre olika systemen för stubbskörd

Table 1. Tasks included in the three different systems for stump wood procurement

Moment	System 1	System 2	System 3
Drivning	Stubblyftning, skotning	Stubblyftning, skotning	Stubblyftning, skotning
Transport till terminal			Hela stubbar med stubbil
Upparbetning		Grovkrossning vid avlägg + finkrossning Vid värmeverk	Finkrossning på terminal
Transport till värmeverk	Hela stubbar från avlägg med stubbil	Stubbkross från avlägg med flisbil/skopbil	Stubbkross från terminal med flisbil
Sällning	Vid behov	Vid behov	Vid behov
Fraktion vid mottagning värmeverk	Stubbdelar	Finkross	Finkross

I system 1 transporteras stubbarna hela med en stubbil till värmeverket. Stubbilen är en lastbil som försetts med ett lastutrymme av kraftig stålplåt och med skjutbart lastsystem. Lastning av bilen sker med kran och grip. Förorenade stubbar släpps i marken för att rensas något innan de lastas på ekipaget. Med hjälp av kranen stuvar och packar föraren stubbarna i lastutrymmet (Persson, 2010, pers. komm.; Holmström, 2010, pers. komm.).

I system 2 grovkrossas stubbarna på avlägg med en långsamgående kross. Krossen matas med hjälp av en kranbil. En lastmaskin används för att hålla undan krossmassorna samt för lastning av flisbilen som står för transport till värmeverket (Johanson, 2010, pers. komm.). Flisbilen kan även vara utrustad med en egen lastningsanordning, en skopförsedd kran, en s.k. skopbil. Denna fordonstyp används enbart i undantagsfall i system 2, när avläggets utformning gör det svårt att rymmas med både lastmaskin och lastbil samtidigt (Forsman, 2010, pers. komm.). Det grovkrossade stubbmaterialet finkrossas i anslutning till värmeverket med en höghastighetskross och tas sedan emot av värmeverket (Forsman, 2011, pers. komm.).

I system 3 körs stubbarna först hela med en stubbil till en terminal där en höghastighetskross finkrossar materialet. Krossen matas med en grävmaskin och en lastmaskin håller undan krossmassorna (Johanson, 2010, pers. komm.). Det krossade materialet körs till värmeverket med flisbil.

På värmeverket blir leveranserna inmätta. D.v.s. leveranserna vägs och fukthalts- och askhaltsprov tas på stubbveden för att kunna bestämma det effektiva värmevärdet för leveransen i MWh. Tillvägagångssättet är olika för stubbar som levereras hela enligt system 1 jämfört med stubbar som levereras krossade enligt system 2 och 3. Stubbarna som levereras enligt system 1 vägs först en gång när de kommer till värmeverket, därefter behandlas stubbarna hårdhänt för att så mycket mineraljord som möjligt ska lossna innan stubbarna vägs ytterligare en gång. Efter denna behandling krossas stubbarna och fukthalts- och askhaltsprover tas, därefter beräknas värmevärdet i MWh. I system 2 och 3 vägs leveransen och därefter tas samma prover som för system 1 men utan att stubbveden genomgått någon förberedande behandling. (Wikman, 2011, pers. komm.).

Om stubbmaterialet bedöms hålla för mycket föroreningar görs en sällning med en trumsikt. Detta gäller för alla tre system.

I nuläget (2010) har Norra Skogsägarna dålig uppfattning om kostnaderna för de olika systemen och därmed vilka system som skall användas samt under vilka förutsättningar de olika systemen lämpar sig bäst. Erfarenheten visar på att direkttransport av hela stubbar tycks vara bäst vid korta avstånd medan krossning lönar sig bättre vid längre avstånd och stor mängd stubbar (Forsman, 2010, pers. komm.).

1.5. Mål med examensarbetet

Målet med examensarbetet är att undersöka hur faktorerna transportavstånd, objektstorlek och stubbmängd per ha påverkar kostnaden för tre olika transportsystem:

1. Hela stubbar från avlägg till värmeverk.
2. Krossade stubbar från avlägg till värmeverk.
3. Hela stubbar till terminal, krossning på terminalen därefter transport till värmeverk.

2. Material och metod

2.1. Allmänt

För att uppnå målet gjordes en systemanalys. Kortfattat kan sägas att ett system består av ett antal hierarkiskt ordnande element (i det här fallet momenten enligt tabell 1) som vart och ett är väl avgränsat och tillför ett värde till slutprodukten (Wasson, 2006). Systemanalysen ger en överblick över de flöden som sker inom systemet och den förändring/förädling som sker mellan de olika elementen.

Ett beräkningsprogram för systemanalysen, Stubbkalk, byggdes upp i Microsoft Excel. Stubbkalk är utformat så att användaren lätt ska kunna gå in och ändra enskilda variabler och se hur det påverkar kostnaderna för systemen. (Bilaga 1)

Underlaget för studien kommer från 21 objekt belägna i Västerbottens kustland. Storleken varierade mellan 2 och 16,8 hektar med en medelstorlek på 5,8 ha och den stubbmängd som lyftes var i snitt 32, 4 ton TS/ha (bilaga 2, tabell I). Stubbarna har körts in till Skellefteå Krafts kraftvärmeverk Hedensbyn i Skellefteå samt Umeå Energis kraftvärmeverk Dävamyran strax norr om Umeå. Objekten har namngivits enligt principen X.Y där X är objektnumret (1-21) och Y är systemtillhörigheten (1, 2 och 3).

Under sommaren och hösten 2009 utfördes inventeringar av 15 av de 21 objekt som ingått i studien. Syftet var att skatta den tillgängliga stubbmängden samt bedöma markberedningsresultatet efter stubblyftning. Provytor med radien 10 m lades ut på hygget, antalet ytor som lades ut bestämdes av hyggets storlek: < 5 ha; 5 ytor, 5 - 10 ha; 6 ytor, 10 - 15 ha; 7 ytor och 15 > ha; 8 ytor. Utläggningen gjordes subjektivt och stubbarna räknades för gran och tall i diameterklasserna: < 20 cm, 20 – 30 cm, 30 – 40 cm, 40 – 50 cm och > 50 cm. Att lövstubbar inte räknades berodde på skogsstyrelsens rekommenderar att lämna alla lövstubbar vid stubbskörd. (Bilaga 2, tabell II)

Förutom systemanalysen jämfördes massan stubbar (ton TS askfritt) enligt inventering med stubbmängd enligt inmättningsbesked (ton TS askfritt) samt avverkad stamvedsvolym (m^3_{fub}) med lyft stubbvolym (m^3_f).

2.2. Systemanalys

Uppgifterna som använts för att räkna fram det medelobjekt systemanalysen utgår ifrån bygger på driftuppföljningsdata (uppgifter från inmätning och uppföljning av stubblyftning och stubbskotning) från de 21 objekt som ingått i studien, intervjuer, inventeringsdata och litteratur. För systemanalysen gjordes följande antaganden:

- En objektsstorlek på 5,8 ha.
- Transportavstånd från skog till industri 55 km.
- Transportavstånd från skog till terminal 22 km.
- Transportavstånd från terminal till industri 55 km.
- Tidsåtgången per ha för stubblyftning och skotning beräknades via driftuppföljningsdata till i genomsnitt 13,7 respektive 10,0 G_0 -timmar/ha

- Stubbvedens fukthalt och askhalt räknades ut via inmättningsdata till i genomsnitt 32,95 % respektive 8,71 %
- Stubbvedens effektiva värmevärde sattes i systemanalysen till 4,59 MWh/ton TS vilket motsvarar 16,52 MJ/kg TS
- Kostnadsuppgifter för de ingående maskinerna uppgavs av Norra Skogsägarna, se tabell 5.
- Ett uttag på 32,4 ton TS stubbar/ha

2.2.1. Uppföljning av stubblyftning och stubbskotning

Stubblyftningen ersattes av Norra Skogsägarna på två olika sätt, ersättning per redovisad effektiv arbetstimme (G_0 -timme): 11 objekt, eller per stubblyft hektar: 10 objekt. I de fall ersättningen var per G_0 -timme registrerades produktionstiden och tidsåtgången (G_0 -timmar/ha) räknades ut (tabell 2). I de fall ersättningen var per hektar har inte produktionstiden registrerats och tidsåtgången har inte kunnat beräknas. I systemanalysen har det förutsatts att ersättningen för stubblyftningen var per G_0 -timme.

Den uppmätta tidsåtgången för stubblyftningen jämfördes med den teoretiska tidsåtgången (Dimitris m.fl. In Press). Dimitris m.fl. kom fram till följande samband för den tid det tar att lyfta en stubbe (formel 1 och 2).

Formel 1: Tidsåtgången för tallstubbar:

$$P_T = 11,8 + 10,6 \cdot S + e^{3,50+0,03x}$$

Formel 2: Tidsåtgången för granstubbar:

$$P_G = 11,8 + 10,6 \cdot S + e^{3,38+0,03x}$$

Där:

P_T = Produktionstiden för tallstubbar (s)

P_G = Produktionstiden för granstubbar (s)

S = Dummyvariabel. $S = 1$ om ytstruktur och/eller lutning = 3, $S = 0$ om ytstruktur och eller lutning ≤ 2 .

x = stubbdiameter på 30 cm ovan marknivån.

Data från stubbinventeringen användes för att räkna ut de teoretiska tidsåtgången (G_0 -timmar/ha) för varje objekt (tabell 2).

Stubbskotningen ersattes för alla 21 objekt per G_0 -timme och tidsåtgången räknades ut på samma sätt som för stubblyftningen (tabell 2).

Tabell 2. Stubblyftningens tidsåtgång (G_0 -tim/ha), den uppmätta och den teoretiska samt tidsåtgången för stubbskotningen (G_0 -tim/ha)

Table 2. The time consumption for stump lifting (G_0 -h/ha), both the measured and the theoretical and the time consumption for stump forwarding per ha (G_0 -h/ha)

Objekt	Lyftning: Uppmätt tidsåtgång (G_0 -tim/ha)	Lyftning: Teoretisk tidsåtgång (G_0 -tim/ha)	Skotning: Uppmätt tidsåtgång (G_0 -tim/ha)
1.1		14,2	9,5
2.1		18,7	12,6
3.1	11,6		13,2
4.1	9,9	19,1	10,5
5.1	11,5	19,5	12,8
6.1	16,4	13,4	9,0
7.1	10,5		5,7
8.1		24,2	8,7
9.1	18,6	20,7	10,0
10.1		16,7	6,6
11.1	24,1	16,2	8,2
12.1		17,5	9,6
13.2		18,0	10,2
14.2	16,3	16,2	8,2
15.2	11,9		7,8
16.2		13,3	12,7
17.2	13,7	19,2	8,5
18.2	6,3		5,5
19.3			11,0
20.3		22,0	14,5
21.3			15,0
Medel:	13,7	17,7	10,0
Stdav:	4,9	2,4	2,7

2.2.2. Fukthalt, askhalt, $\text{kg/m}^3\text{f}$ och effektivt värmevärde

I mätbeskeden från värmeveken fanns uppgifter om: Volym (m^3f), råton (vikten av stubbveden i fuktigt tillstånd plus föroreningar), torrhalt (%), askhalt (%) och leveransens totala energiinnehåll (MWh) (bilaga 2 tabell II). Utifrån dessa uppgifter beräknades fukthalt (%), ton TS och det effektiva värmevärdet i torr stubbved: W_{eff} (MJ/kg TS och MWh/ton TS). Förutom det effektiva värmevärdet beräknades stubbvedens rådensitet ($\text{kg/m}^3\text{f}$). I tabell 3 visas genomsnittlig fukthalt, askhalt, effektivt värmevärde samt $\text{kg/m}^3\text{f}$ för alla 21 objekt samt standardavvikelsen.

Tabell 3. Genomsnittlig fukthalt, askhalt, energivärden samt rådensitet för de 21 objekt som ingick i studien

Table 3. Average moisture content, ash content, energy values and the raw density of the 21 sites included in the study

	Medelvärde	Standardavvikelse
Fukthalt (%)	32,95	7,74
Askhalt (%)	8,71	7,82
W_{eff} (MJ/kg TS)	16,71	1,11
W_{eff} (MWh/ton TS)	4,64	0,31
$\text{kg/m}^3\text{f}$	683	48

Med effektivt värmevärde avses den energimängd som kan utvinnas ur trädränsle vid förbränning. Fukt och föroreningsaska sänker det effektiva värmevärdet. Även om fukt och föroreningsaska tas med i beräkningarna så mäts det effektiva värmevärdet per viktenhet torrt bränsle inräknat vikten av föroreningsaska (Ringman, 1995).

För att beräkna det effektiva värmevärdet (W_{eff}) används Ringmans (1995) formel (formel 3). Denna formel används av värmeverken (Wikman, 2011, pers. komm.) och har därför använts i systemanalysen för att kunna göra känslighetsanalyser av ask- och fukthaltens inverkan på systemkostnaden.

Formel 3: Effektivt värmevärde:

$$W_{\text{eff}} = W_a \cdot \frac{(100 - A)}{100} - 2,45 \cdot \frac{fh}{(100 - fh)}$$

Där:

A = Askhalt (%)

W_{eff} = Effektiva värmevärdet (MJ/kg TS)

W_a = Referensvärde, effektivt värmevärde i helt torr och föroreningsfri ved.

fh = Fukthalt (%)

2,45 = Ångbildningsenergin för vatten vid 20 grader Celsius. (MJ/Kg TS)

Norra Skogsägarna har genom Bränsle Laboratoriet i Umeå AB låtit testa stubbvedens bränsleegenskaper med avseende på energiinnehållet i torr och föroreningsfri stubbved (tabell 4).

Tabell 4. Prover av energiinnehåll i torr och föroreningsfri stubbved

Table 4. Samples of the energy content in stump-wood, free from moisture and contaminations

Provnummer	W_a (MJ/kg TS)
2010-00301-01	19,48
2010-00301-02	19,35
2010-00301-03	19,42
2010-00301-04	19,37
2010-00301-05	19,44
Medel:	19,41
Stdav:	0,53

Med $W_a = 19,41$ MJ/kg och en fukt- och askhalt enligt tabell 4 insatta i formel 1 beräknades W_{eff} till 16,52 MJ/kg TS vilket motsvarar 4,59 MWh/ton TS. 4,59 MWh/ton TS har använts som grundvärde i systemanalysen.

2.2.3. Kostnadsuppgifter

De kostnader som använts i systemanalysen är de som Norra Skogsägarna uppgett. Stubblyftning och stubbskotning har ersatts per G_0 -timme, ersättningen för lastbilstransporter utgick från antalet råton som levererats till värmeverket och sträckan mellan lastnings- och lossningsplats. Om lastbilen körts med underlast (< 20 råton lastvikt på ekipaget) har en underlastersättning betalats ut, i systemanalysen har det förutsatts att en underlastersättning har betalats ut för alla transporter som skett med stubbil, (tabell 4). I systemanalysen förutsattes att stubbar i system 1 samt transport av stubbar till terminal i system 3 körts med stubbil och att stubbkross i system 2 och 3 körts med flisbil. För system 2 testades även transport med skopbil. Upparbetning ersattes i system 2 och 3 utifrån antalet råton som krossats plus en flyttkostnad. I system 3 tillkom en avgift för terminalen. För att öppna en terminal krävdes minst 2500 råton och det är denna stubbmängd som använts i beräkningarna för terminal- och krossningskostnaden. Momentet sällning tillkom om stubbmaterialet bedömdes innehålla för mycket föroreningar, sällningen ersattes på samma sätt som krossningen, kr per råton plus en flyttkostnad. En schablonmässig kostnad för underhåll och iordningställande av väg och avlägg plussades också på.

I systemanalysen förutsattes att värmeverken ger mer betalt per MWh för krossade än för okrossade stubbar, detta eftersom okrossade stubbar innebär en fördyrad hantering för värmeverken. För att simulera den ”kostnad” det innebär för Norra Skogsägarna att leverera okrossade stubbar till ett lägre pris jämfört med att leverera krossade stubbar och få bättre betalt användes prisskillnaden mellan krossade och okrossade stubbar. Denna kostnad är redovisad under: ”Hantering värmeverk”. Denna räknades om från kr/MWh till kr/råton under förutsättningarna att fukthalten var 32,95% och askhalten 8,71 %. I tabell 4 redovisas alla kostnader som använts i studien.

Tabell 4. Kostnader som använts i studien (Forsman, 2010, pers. komm.)

Table 4. Costs applied for the study (Forsman, 2010, pers. komm.)

Energipris krossade stubbar:	205 kr/MWh
Energipris hela stubbar:	165 kr/MWh
Stubblyftning:	770 kr/ G_0 -tim + 1500 kr/flytt och objekt
Stubbskotning:	780 kr/ G_0 h-tim + 1500 kr/flytt
Hantering värmeverk syst. 1:	40 kr/MWh eller 123 kr/råton ¹
Upparbetning syst. 2:	155 kr/råton + 5000 kr/flytt
Upparbetning syst. 3:	100 kr/råton + 7500 kr/flytt + 10000 kr terminalavgift
Stubbil:	60 kr/råton + 1,3 kr/råton* km + underlastersättning 22,5 % påslag på priset.
Flisbil:	11 kr/råton + 0,57 kr/råton* km
Skopbil:	35 kr/råton + 0,8 kr/råton* km
Sällning:	65 kr/råton + 3000 kr/flytt och objekt
Vägunderhåll:	2500 kr/objekt

¹ Vid en fukthalt på 32,95 % och en askhalt på 8,71 %

¹At a moisture content of 32.95 % and an ash content of 8.71%

2.2.4. Känslighetsanalys och verkliga objekt

För att testa hur stor inverkan enskilda variabler hade på den totala systemkostnaden gjordes en känslighetsanalys för alla tre systemen där det testades hur stor inverkan en förändring av varje enskild variabel hade på den totala systemkostnaden. I känslighetsanalysen höjdes och sänktes värdet på varje enskild variabel med motsvarande 25 %.

För att jämföra resultatet av systemanalysen med verkligheten jämfördes denna med resultatet från de 21 objekt som legat till grund för examensarbetet. Tolv var inkörda enligt system 3, sex var inkörda enligt system 2 och tre var inkörda enligt system 3. (Bilaga 2, tabell III)

2.3. Skattning av stubbmängd/ha

För att räkna ut tillgängliga stubbiomassa (ton TS) på hygget användes Marklunds (1988) biomassafunktioner för enskilda träd (formel 4 och 5).

Formel 4: Tallstubbens massa:

$$M = e^{((d/(d+12)) \cdot 11,1106 - 3,3913)}$$

Formel 5: Granstubbens massa:

$$M = e^{((d/(d+14)) \cdot 10,5381 - 2,4447)}$$

Där:

d = brösthöjdsdiameter på bark (cm)

M = kg torrsubstans utan föroreningar

Marklunds funktioner utgår från brösthöjdsdiametern, därför räknades stubbdiametern om till brösthöjdsdiametern. Detta gjordes med omräkningsfaktorn 0,806 för tall och 0,765 för gran (Karlsson, 2007).

Den inventerade stubbmassan (ton TS utan föroreningsaska) jämfördes med den inmätta. För att göra den inmätta stubbmassan jämförbar med den inventerade räknades vikt av fukt och föroreningsaska bort.

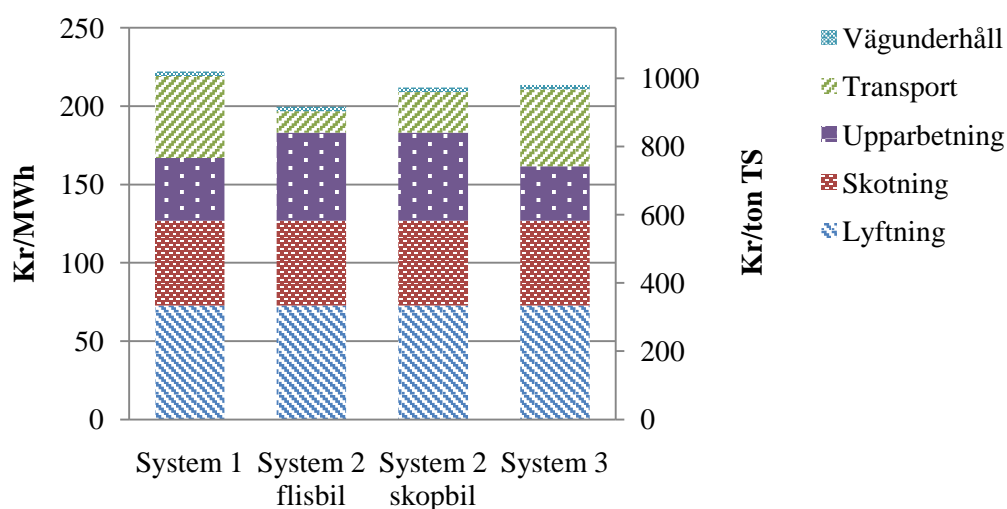
För tolv objekt jämfördes den avverkade stamvedsvolymen (m³fub) med den senare lyfta stubbvolymen (m³f).

3. Resultat

3.1. Systemanalys

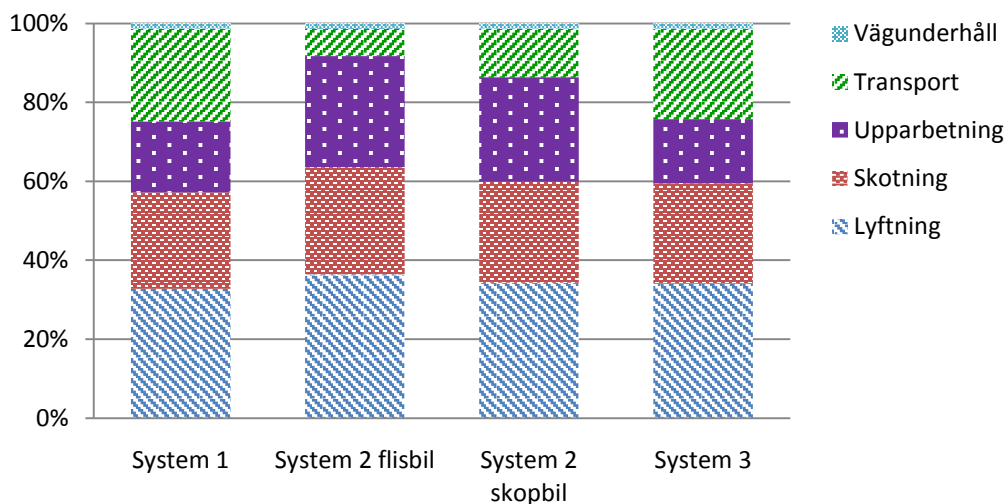
3.1.1. Kostnadsfördelning för medelobjektet

För ett objekt på 5,8 ha, med ett uttag av stubbar på 32,4 ton TS/ha och ett transportavstånd till värmeverk på 55 km samt ett transportavstånd till terminal på 22 km är den totala systemkostnaden för system 1: 222 kr/MWh (1019 kr/Ton TS), för system 2 med flisbil: 200 kr/MWh (917 kr/ton TS), system 2 med skopbil 212 kr/MWh (971 kr/ton TS) och för system 3: 214 kr/MWh (980 kr/Ton TS). I figur 1 visas kostnadsfördelningen mellan de tre olika systemen i kr/MWh och i figur 2 visas den procentuella fördelningen mellan kostnaderna.



Figur 1. Kostnadsfördelningen i system 1, 2 och 3 visat i kr/MWh och kr/ton TS.

Figure 1. Cost allocation in system 1, 2 and 3 shown in SEK /MWh and SEK /ton TS.



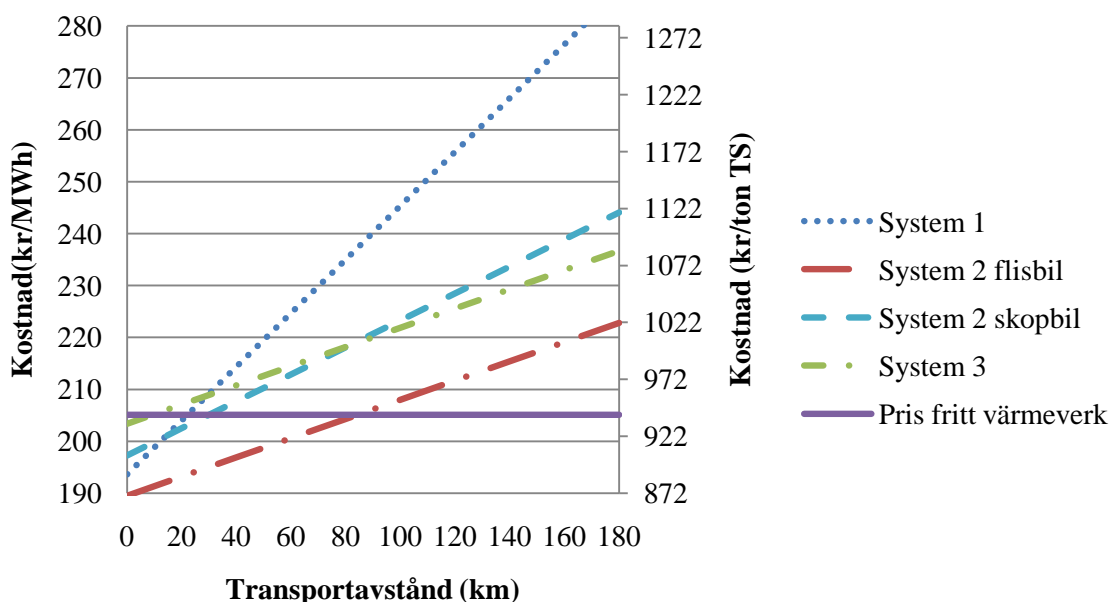
Figur 2. Kostnadsfördelningen i system 1, 2 och 3 visat i %.

Figure 2. Cost allocation in system 1, 2 and 3 shown in %.

Som framgår av figur 1 är kostnaden för lyftning och skotning samma för alla tre system, lyftning och skotning är också de största enskilda kostnadsposterna oavsett system. System 2, som är det billigaste systemet utmärker sig genom att ha en låg transportkostnad och en hög krossningskostnad (figur 1 och 2). I system 3 som är näst billigast är kostnaden för transport och krossning bara något lägre än för system 1 som är det dyraste av systemen. I system 3 består transportkostnaden utav två delar. Transport med stubbil till terminal och transport med flisbil från terminalen till värmeverket. Transporten med stubbil står för 71 % av den totala transportkostnaden i system 3. Om sällning görs ökar kostnaden i alla system med 25 kr/MWh (113 kr/ton TS)

3.1.2. Transportavstånd, objektsstorlek och tillgänglig stubbmängd per ha

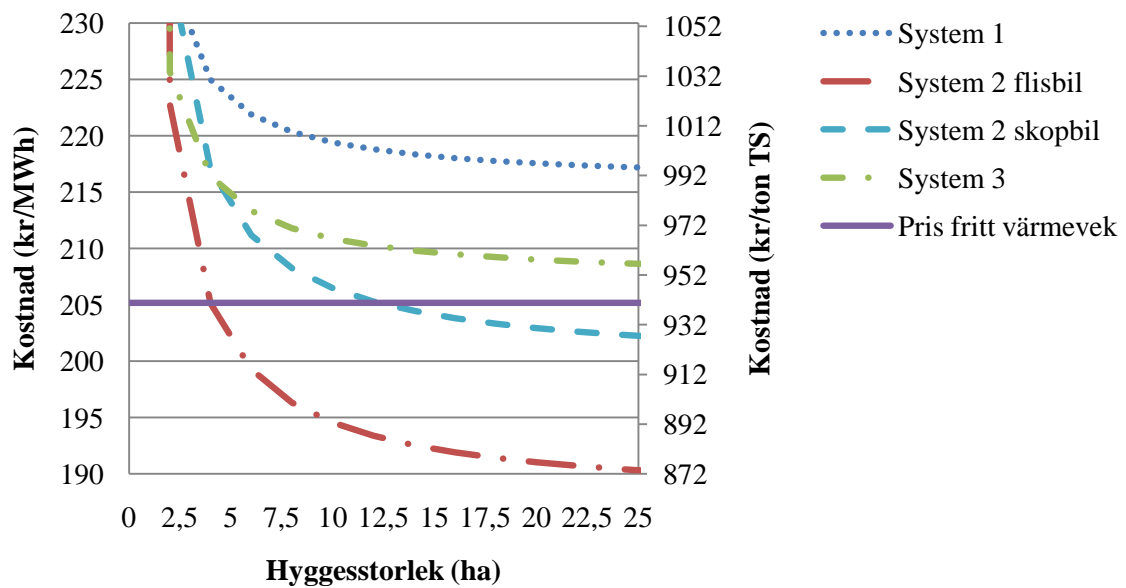
För ett objekt på 5,8 ha med ett uttag av stubbar på 32,4 ton TS/ha är system 2 billigast oavsett transportavstånd, förutsatt att flisbil används (figur 3). Med flisbil är system 2 lönsamt upp till 84 km transportavstånd till värmeverk, används en skopbil blir system 2 lönsamt upp till 30 km. System 1 är lönsamt vid ett transportavstånd upp till 22 km. System 3 är lönsamt då transportavståndet mellan terminal och industri är under 9 km.



Figur 3. Systemkostnaden i kr/MWh och kr/ton TS vid olika transportavstånd till värmeverk för system 1, 2 (flisbil och skopbil) och 3.

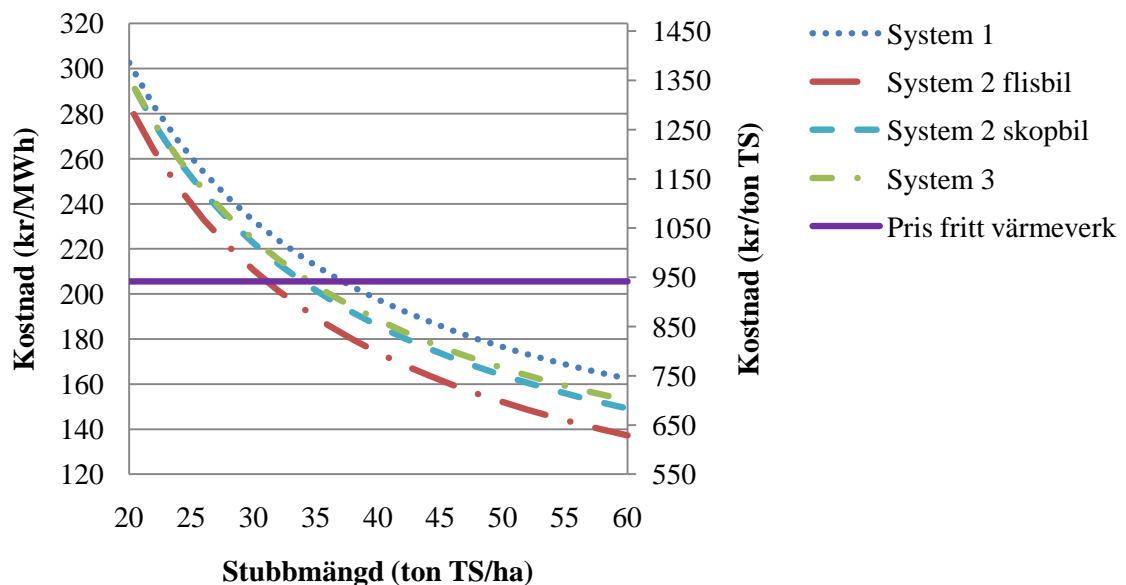
Figure 3. System cost in SEK/ MWh and SEK/ ton TS at different transport distance to the heating plant for systems 1, 2 (with two different lorries) and 3.

Vid ett transportavstånd till värmeverk på 55 km och ett uttag av stubbar på 32,4 ton TS/ha är system 2 med flisbil det billigaste alternativet även med hänsyn till objektets storlek, 4,0 ha är minsta lönsamma storleken, se figur 4. Då skopbil används är minsta lönsamma storlek 12,6 ha. System 1 och 3 blir under givna förutsättningar aldrig lönsamt men system 1 är billigare än system 2 med flisbil vid en objektsstorlek under 2,3 ha (figur 4).



Figur 4. Systemkostnaden i kr/MWh och kr/ton TS vid olika objektsstorlek.
Figure 4. System cost in SEK/MWh and SEK /ton TS at different size of sites.

Vid en objektstorlek på 5,8 ha och ett transportavstånd till värmeverk på 55 km kräver system 1 ett uttag på minst 37,3 ton TS/ha för att bli lönsamt, system 2 med flisbil behöver ett uttag på 31,2 ton TS/ha, används en skopbil i system 2 behövs 34,1 ton TS/ha. För att system 3 ska bli lönsamt måste uttaget vara minst 34,7 ton TS/ha (figur 5).



Figur 5. Systemkostnad i kr/MWh och kr/ton TS vid olika uttag av stubbar (ton TS/ha).
Figure 5. System cost in SEK/MWh and SEK /ton TS at different amount (ton TS /hectare) of stumps lifted per ha.

3.1.3. Känslighetsanalys

Den känslighetsanalys som gjordes visar på att alla tre system är relativt känsliga för lyftnings- och skotningskostnaden samt tidsåtgång per ha för dessa. Den enskilda faktor som har störst betydelse för systemens totalkostnad är den tillgängliga stubbmängden per ha, en minskning av denna ger en stor ökning av systemens totala kostnad. Också fukthalten är en faktor som har relativt stor betydelse på systemens totala kostnad. I tabell 5, 6 och 7 visas känslighetsanalysen för system 1, 2 och 3.

Tabell 5. Känslighetsanalys för system 1 vid en förändring av de enskilda variablerna på 25 %. Utgångsvärdet är 222 kr/MWh

Table 5. Sensitivity analysis for system 1 at a change of the individual variables of 25 %. Reference value is 222 kr/MWh

Variabel	Förändring av systemkostnad vid minskning av variabel med 25 % (%)	Förändring av systemkostnad vid ökning av variabel med 25 % (%)
Lyftning (kr/ G ₀ -tim)	-8,0	8,0
Tidsåtgång lyftning (G ₀ -tim/ha)	8,0	-8,0
Flyttkostnad lyftning (kr)	-0,2	-1,1
Skotning (kr/ G ₀ -tim)	-5,9	5,9
Tidsåtgång skotning (G ₀ -tim /ha)	5,9	-5,9
Flyttkostnad skotning (kr)	-0,2	0,2
Stubbil (kr/råton)	-2,7	2,7
Stubbil (kr/råton*km)	-3,2	3,2
Underlastsersättning stubbill (%)	-1,1	-0,2
Hantering värmeverk (kr/MWh)	-5,8	4,5
Transportavstånd industri (km)	-3,2	3,2
Hyggesstorlek (ha)	1,8	0,3
Uttag (ton TS/ha)	20,6	-10,9
Fukthalt (%)	-4,5	7,0
Askhalt(%)	-0,7	1,6
Vägunderhåll (kr)	-0,3	0,3

Tabell 6. Känslighetsanalys för system 2 med flisbil vid en förändring av de enskilda variablerna på 25 %. Utgångsvärdet är 200 kr/MWh

Table 6. Sensitivity analysis for system 2 used with a chip lorry at a change of the individual variables of 25 %. Reference value is 200 kr/MWh

Variabel	Förändring av systemkostnad vid minskning av variabel med 25 % (%)	Förändring av systemkostnad vid ökning av variabel med 25 % (%)
Lyftning (kr/tim)	-8,9	8,9
Tidsåtgång lyftning (tim/ha)	-8,9	8,9
Flyttkostnad lyftning (kr)	-0,2	0,2
Skotning (kr/tim)	-6,6	6,6
Tidsåtgång skotning (tim/ha)	-6,6	6,6
Flyttkostnad skotning (kr)	-0,2	0,2
Flisbil (kr/ton)	-0,4	0,4
Flisbil (kr/tonkm)	-1,3	1,3
Korssning (ton)	-6,3	6,3
Flyttkostnad krossning (kr)	-0,7	0,7
Transportavstånd industri (km)	-1,3	1,3
Hyggesstorlek (ha)	3,1	-0,2
Uttag (Ton TS/ha)	23,9	-12,7
Fukthalt (%)	-5,8	9,0
Askhalt(%)	-0,9	2,0
Vägunderhåll (kr)	-0,4	0,4

Tabell 7. Känslighetsanalys för system 3 vid en förändring av de enskilda variablerna på 25 %.

Utgångsvärdet är 214 kr/MWh

Table 7. Sensitivity analysis for system 3 at a change of the individual variables of 25 %. Reference value is 214 kr/MWh

Variabel	Förändring av systemkostnad vid minskning av variabel med 25 % (%)	Förändring av systemkostnad vid ökning av variabel med 25 % (%)
Lyftning (kr/ G ₀ -tim)	-8,3	8,3
Produktivitet lyftning (G ₀ -tim /ha)	-8,3	8,3
Flyttkostnad lyftning (kr)	-0,2	0,2
Skotning (kr/ G ₀ -tim)	-6,1	6,1
Produktivitet skotning (G ₀ -tim/ha)	-6,1	6,1
Flyttkostnad skotning (kr)	-0,2	0,2
Stubbil (kr/råton)	-2,8	2,8
Stubbil (kr/råton*km)	-1,3	1,3
Underlastsersättning stubbill (%)	-0,8	0,8
Flisbil (kr/råton)	-0,4	0,4
Flisbil (kr/råton*km)	-1,2	1,2
Krossning (kr/råton)	-3,8	3,8
Flyttkostnad krossning (kr)	-0,1	0,1
Terminalavgift (kr)	-0,2	0,2
Terminalstorlek (råton)	0,4	-0,2
Transportavstånd terminal (km)	-1,3	1,3
Transportavstånd industri (km)	-1,2	1,2
Hyggesstorlek (ha)	2,1	0,5
Uttag (ton TS/ha)	21,5	-11,2
Fukthalt (%)	-6,6	10,1
Askhalt(%)	-1,1	2,2
Vägunderhåll (kr)	-0,3	0,3

3.2. Skattning av stubbmängd/ha

Den massa stubbar som lyfts var i genomsnitt för alla 21 objekt 29,46 Ton TS föroreningsfritt/ha (ton TS ff/ha) detta motsvarar 71, 36 m³f/ha (tabell 8). Den lyfta stubbmassan var i snitt 88 % av den inventerade med en standardavvikelse på 23 procentenheter. Den lyfta stubbmassan var både större och mindre än den inventerade (tabell 8). Den lyfta stubbvolymen var i snitt 35 % av den avverkade stamvedsvolymen med en standardavvikelse på 9 procentenheter.

Tabell 8. Stubbmängd (ton TS föroreningsfritt/ha) enligt inmätning jämfört med den teoretiska stubbmängden (ton TS föroreningsfritt/ha) enligt inventeringen samt avverkad rundvirkesvolym (m³fub) jämfört med lyft stubbvolym (m³f)

Table 8. Stump Quantity (ton TS contamination free / ha) according to delivery report compared with the theoretical amount of stumps (ton TS contamination free / ha) according to inventory and harvested timber volume (m³fub) compared to lifting stump volume (m³f).

Obj.	Inmätt (ton TS ff/ha)	Inventerat (ton TS ff/ha)	inmätt/ inventerat (%)	Stubbar (m3f/ha)	Stamved (m3f/ha)	inmätt/ inventerat (%)	stubbvol./ stamv.vol. (%)
1.1	16,1	20,8	77	39	113	77	34
2.1	19,7	39,1	50	48	229	50	21
3.1	52,9						
4.1	39,8	37,5	106	97		106	
5.1	26,9	26,4	102	61		102	
6.1	41,8	40,8	103	85	199	103	43
7.1	27,4			67	170		40
8.1	25,0	45,4	55	51		55	
9.1	50,2	43,0	117	115		117	
10.1	23,4	36,2	65	61	262	65	23
11.1	28,8	27,3	106	67	178	106	37
12.1	29,0	24,5	118	63		118	
13.2	32,9	43,2	76	84	203	76	42
14.2	28,1	29,2	96	64	145	96	44
15.2	19,8			45	207		22
16.2	22,5	30,0	75	52		75	
17.2	29,2	35,6	82	116	235	82	49
18.2	18,5			46			
19.3	22,2			58	176		33
20.3	31,6	41,1	77	81	240	77	34
21.3	30,9			80			
Medel:	29,4	34,67	87	69,07	196,51	87	35
Stdav:			21			21	9

4. Diskussion

4.1. Material och metod

Underlaget till den här studien utgörs till stor del av driftuppföljningsdata. Dataunderlaget (21 objekt) är stort om man jämför med många andra studier som ofta bygger på undersökningar av enbart några få objekt (Karlsson, 2007; Hedman, 2008; Lindberg, 2008; Anerud, 2010). Däremot har detaljeringsnivån på datat varit låg. Att använda uppgifter från driftuppföljning innebär också en viss osäkerhet då noggrannheten och metoden vid insamling och registrering är okänd. Fördelen med att använda driftuppföljningsdata är att det är uppgifter som kommer från ett stort antal objekt med olika förutsättningar. Detta gör det möjligt att se spridningen mellan objekten vilket ger en känsla för stabiliteten i datat.

Tidsåtgången för stubblyftningen och stubbskotningen var igenomsnitt: 13,7 G₀-timmar/ha respektive 10,0 G₀-timmar/ha är i samma storleksordning som de uppgifter som presenterats i tidigare undersökningar (Karlsson, 2007; Hedman, 2008). Det ska dock påpekas att de stubblyftningsentreprenörer som ersatts utifrån antalet ha har hållit ett högre arbetstempo än dem som gått på timtid, det är därför troligt att tidsåtgången per ha i genomsnitt varit lägre än de 13,7 G₀-timmar/ha (Forsman, 2011, pers. komm.). Nämnas ska också att den tidsåtgång som redovisats för stubblyftningen även innefattar markberedning. Hur mycket tid denna tog upp av den totala tidsåtgången har utelämnats i detta arbete och bör därför vara föremål för fortsatta studier. Ytterligare en osäkerhetskälla vad gäller tidsåtgången för stubblyftningen är att de grävmaskiner som använts saknat ett skakur för klockning av produktionstiden. Produktionstiden (G₀-timmar) fylldes i stället i av föraren (Forsman, 2011, pers. komm.). Detta är en stor källa till osäkerhet.

När den teoretiska tidsåtgången för stubblyftningen (Dimitris m.fl. In press) jämfördes med den uppmätta så var den teoretiska tidsåtgången både högre och lägre (tabell 2). Detta kan förklaras av att den teoretiska modellen inte beaktar markberedningsmomentet samt att stubbar lämnats vid lyftning. Men störst inverkan har troligen varierande terrängförhållanden och förarnas erfarenhet och effektivitet haft. Anledningen till att uppgifter inte finns inte finns för alla objekten är dels att stubblyftningstiden inte fanns registrerad för några av objekten samt att inte alla objekt inventerats innan lyftning.

Medelvärde för både fukt- och askhalt stämmer väl överens med tidigare erfarenheter (Anerud, 2010; Laurila & Lauhanen, 2010). Vid beräkning av stubbvedens effektiva värmevärde har referensvärdet 19,41 MJ/kg TS använts tillsammans med medelvärdet för fukt- och askhalt. Tidigare studier visar dock på att referensvärdet borde vara något högre (Lindberg, 2008; Anerud, 2010). I dagsläget är det vanligaste att värmeverken räknar med samma referensvärde för stubbved som för stamved (19,2 MJ/kg TS) men det förekommer att värmeverken testat även detta i samband med provtagning av fukt- och askhalt (Wikman, 2011, pers. komm.). Detta förklarar varför det genomsnittliga effektiva värmevärdet (16,71 MJ/kg TS) för de 21 objekt som ingick i studien var högre än det som räknades fram med hjälp av formel 1 och fukt- och askhalt enligt tabell 3 (16,52 MJ/kg TS).

De kostnadsuppgifter och ekonomiska ersättningar som använts för beräkningarna i studien är de som Norra Skogsägarna lämnat ut. Hur väl dessa stämmer jämfört med de faktiska

kostnader och vinstkrav som Norra Skogsägarnas entreprenörer har är svårt att uttala sig om. I studien har administrativa kostnader och ersättningar till markägaren utelämnats.

För att räkna ut den teoretiska stubbmängden per ha har Marklunds (1988) formler använts, dessa har kompletterats av Hansson och Ståhl (2006) för att ta hänsyn till även de finaste rotdelarna (ner till 2 mm). Vid praktisk lyftning av stubbar är det inte rimligt att så fina rötter följer med så därför har Marklunds funktioner från 1988 använts. Marklunds biomassafunktioner är avsedda att användas på enskilda träd. I detta examensarbete har den teoretiska stubbiomassan beräknats utifrån antal stubbar i olika diameterklasser, d.v.s. klassmitt multiplicerat med antal stubbar i klassen. Denna metod är inte exakt och därför en felkälla.

När den teoretiska stubbmassan jämfördes mot den inmätta framgick att några objekt hade blivit inmätta med en större massa än den beräknade teoretiska massan. Något som också Karlsson (2007) påpekar. Detta kan bero på noggrannheten i inventeringen, inventeringen gjordes med subjektiv utläggning av provytorna vilket ger en stor osäkerhet. Det kan också bero på att lövstubbar tagits upp vid stubblyftningen (dessa har inte registrerats vid inventeringen). Det kan också vara så att funktionerna i sig har en viss osäkerhet.

Att bara 12 objekt och inte 21 ligger som underlag för jämförelsen mellan avverkad stamvedsvolym och lyft stubbvolym beror på att virke från en avverkning kan redovisas tillsammans med virke från en annan avverkning på samma fastighet. Då så var fallet kunde inte den avverkade stamvedsvolymen jämföras med den lyfta stubbvolymen och dessa objekt togs inte med i jämförelsen.

4.2. Resultat

Resultatet av systemanalysen bygger på medelvärden och är enbart en förenkling av verkligheten. Det som resultatet visar på är, att för medelobjektet är system 2 det billigaste alternativet oavsett transportavstånd så länge som en flisbil används.

Lindberg (2008) gjorde en liknande jämförelse mellan olika system för stubbtransporter för Holmens Skogs räkning. Han kom bl.a. fram till att direkttransport av hela stubbar till värmeverk var billigast upp till ca 70 km transportavstånd, därefter var det lönsamt att krossa stubbarna vid avlägg innan de transporterades till värmeverket. Lindberg hade dock räknat med en betydligt lägre kostnad för upparbetning och hantering av stubbarna på värmeverket (15 kr/råton), något som förklarar varför systemet med direkttransport av stubbar var billigare upp till 70 km i hans studie. Förutom på den punkten är kostnadsfördelningen mellan de olika momenten i Lindbergs i samma storleksordning som i detta examensarbete.

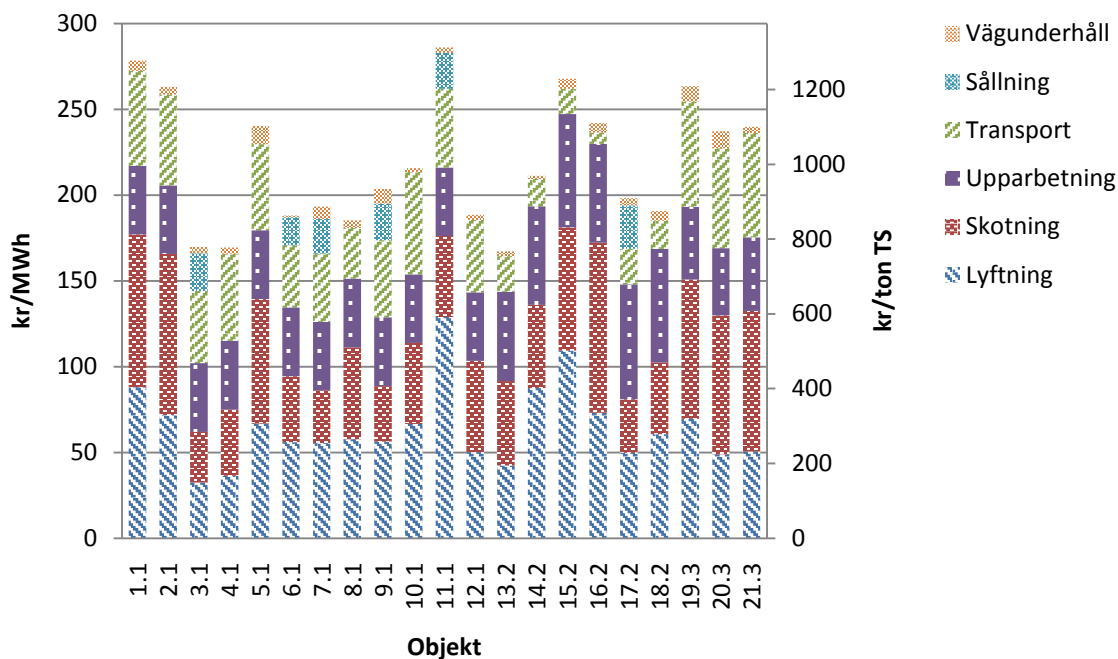
Det medelobjekt som systemanalysen bygger på är dock i underkant vad gäller både areal och lyft stubbmassa/ha för att vara lönsamt att driva (figur 4 och 5) och i systemanalysen har inte löne- och administrativa kostnader tagits upp. Vid framtida praktisk stubblyftning är det därför troligt att medelobjekten kommer att vara större med avseende på både areal och tillgänglig stubbmängd/ha.

Det är inte bara transportavståndet som påverkar den totala systemkostnaden. Som framgår av figur 4 och 5 spelar även objektstorleken och framförallt den tillgängliga stubbmängden

per ha en betydande roll för lönsamheten och det medelobjekt som systemanalysen bygger på är i underkant med avseende på både storlek och stubbmängd per ha.

Känslighetsanalysen bekräftar att stubbmängden per ha är den enskilt mest avgörande faktorn för lönsamheten (tabell 5, 6 och 7). Näst stubbmängden/ ha är lyftnings- och skotningskostnaden samt fukthalten de faktorer som har störst inverkan på systemkostnaden i alla tre systemen. System 1 och 3 är känsligare för transportkostnader än vad system 2 är. System 2 är känsligare för krossningskostnaden än vad system 1 och 3 är.

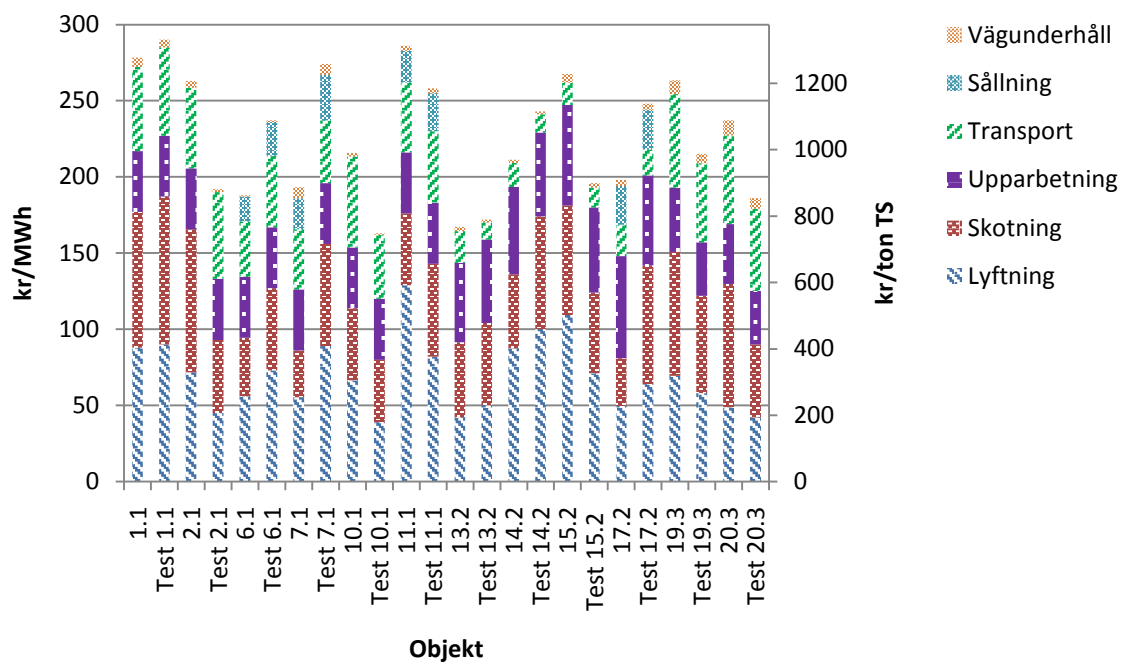
De 21 objekt som ingick i studien visade på en stor kostnadsspridning (figur 6), både för den totala systemkostnaden men även kostnaden för enskilda moment. Som framgår av figuren är spridningen stor både mellan och inom systemen. Spridningen förklaras av att objekten varit olika stora med avseende på både areal och stubbmängd och av att de objekt där uttaget av stubbar per ha varit minst också är de objekt som haft högst systemkostnad. Drivningsförhållanden och skotningsavstånd har skiftat vilket har påverkat prestationen och lett till en spridning i kostnaden för lyftning och skotning. Det effektiva värmevärdet per ton TS har också varit olika till följd av att fukt- och askhalt skiljt mellan objekten.



Figur 6. Kostnadsfördelningen för 21 verkliga objekt i kr/MWh.

Figure 6. Cost allocation for 21 real sites shown in SEK/MWh.

I figur 7 jämförs den verkliga systemkostnaden med den som räknats ut med hjälp utav Stubbkalk. Jämförelsen har gjorts för de objekt där den avverkade stamvedsvolymen varit känd (tabell 8) och det har förutsatts att uttaget av stubbar (m^3f) varit 35 % av stamvedsvolymen (m^3fub). Kostnader, värmevärde, askhalt och fukthalt varit samma som i systemanalysen, transportavstånd och objektsstorlek har ändrats till det verkliga värdet.



Figur 7. Verklig systemkostnad jämfört med den beräknade kostnaden från Stubbkalk.
Figure 7. Actual system cost compared with the system cost calculated from Stubbkalk.

Det framgår i figur 7 att de systemkostnader som Stubbkalk räknat fram ligger både över och under de verkliga systemkostnaderna. Detta förklaras av att tidsåtgången för lyftning och skotning varierat mellan objekten och att askhalten, fukthalten och energivärdet varit olika för objekten. I Stubbkalk har dessa tilldelats värden utifrån de medelvärden som mätts upp i denna studie och detta visar tydligt att det är många olika variabler som i slutändan påverkar den totala systemkostnaden.

System 1 är i praktiken det enklaste systemet, eftersom få maskiner och moment är inblandade. System 2 är mer avancerat då fler maskiner är inblandade. Detta kräver mer planering, dels av maskinresurser men även av själva drivningen eftersom avläggets utformning är av stor betydelse. System 2 kräver gott om plats på avlägget för att ställa upp krossen och för att kunna hantera krossmassorna. Många maskiner ska samsas på en liten yta. Då avläggets utformning eller storlek gör att lastmaskinen inte får plats att lasta flisbilen måste istället en skopbil användas. Denna fordonskombination är dyrare än flisbilen vilket höjer den totala systemkostnaden. System 3 är ett intressant alternativ men faller i dagsläget på den höga transportkostnaden av hela stubbar in till terminalen. Det krävs att det finns en stor mängd stubbar tillgänglig nära till terminalen. Kan man hitta sätt att sänka transportkostnaden från avlägg till terminal kan system 3 mycket väl bli ett bra alternativ, speciellt om det finns många små objekt nära terminalen. Med system 3 behöver inte avläggen anpassas på samma sätt som i system 2 eftersom all krossning sker på terminalen där det finns gott om plats för krossning, hantering av krossmassor och lastning av lastbilar.

Att skatta stubbvolymen utifrån den avverkade stamvedsvolymen verkar som en relativt stabil metod så länge som den avverkade volymen är känd. När den inmätta stubbvolymen (m^3f) jämfördes med den avverkade stamvedsvolymen (m^3fub) framgick att stubbvolymen i genomsnitt uppgick till 35 % av stamvedsvolymen. Karlsson (2007) tittade också på detta

samband men då bara för 3 objekt och kom fram till att den lyfta stubbveden i genomsnitt var 30 % av den avverkade stamvedsvolymen.

4.3. Framtiden

Det tydligaste resultatet av detta examensarbete är att det krävs en stor stubbmängd för att stubblyftning ska vara lönsamt. I framtiden blir det därför viktigt att kunna identifiera objekt med en stor tillgänglig stubbmängd/ha. Utifrån resultatet av detta examensarbete bör det lyftas minst 37,3 ton TS/ha för att ett objekt som är minst 5,8 ha stort ska bli lönsamt att driva enligt system 1. Att utnyttja skördardata för att identifiera objekt med en hög stubbmängd per ha skulle vara en bra metod för planering av stubblyftning (Vesa & Palander, 2010). Redan i dagsläget samlar skördardatorn information om stammar, diametrar, volymer och träslag. Utifrån dessa data kan stubbmängden med lätthet skattas med biomassafunktioner. Skördardata skulle med lätthet kunna kopplas till räknenuddor liknande Stubbkalk och på så sätt kan man redan på förhand få en skattning av den totala systemkostnaden för objektet.

För skogsägaren skulle kostnadseffektiva system för tillvaratagande av stubbar kunna utgöra ytterligare en inkomstkälla från skogen. I denna studie har markberedning skett i samband med stubblyftning. Om markberedningen är av tillräckligt god kvalitet innebär det också att markägaren kan spara in på kostnaden för en konventionell markberedning. Även om markberedningsresultatet inte är tillräckligt efter enbart lyftningen så kan ändå en konventionell markberedning göras billigare eftersom stubblyftningen underlättar arbetet. (Österlöf, 1979; Forsman, 2011, pers. komm.).

För att stubbar i framtiden ska få en acceptans som sortiment är det viktigt att alla delar av branschen, från skog till värmeverk enas om gemensamma mätmetoder och rutiner. Ett tydligt exempel på detta är det referensvärde (19,2 MJ/kg TS) som vanligen används vid beräkning av stubbvedens effektiva värmevärde. Detta är betydligt lägre än de värden som lyfts fram i detta arbete och som uppmätts i tidigare studier (Karlsson, 2007; Strömberg, 2008; Anerud, 2010). Att använda ett för lågt referensvärde leder till att värmeverken systematiskt underskattar den levererade energimängden och därmed betalar för mindre än vad som i verkligheten levereras. Moderna värmeverk är i regel utrustade med utrustning för kondensering av rökgaserna. Rök-gaskondenseringen gör det möjligt att ta vara på energi från vattenångan i rökgaserna och därmed också den energi som åtgår för att förångna fukt bundet i bränslet (Anon, 2005). Detta gör att det effektiva värmevärdet inte speglar den energimängd som värmeverken utvinner från bränslet och värmeverken betalar för mindre energi än vad som i verkligheten levereras. Av dessa anledningar bör rutiner för mätning av energiinnehåll och prissättning ses över för att priserna i framtiden ska bli rättvisare ur leverantörernas syn. Bättre rutiner bör också tas fram för hanteringen av stubbar vid värmeverk. Stubbar som levereras hela enligt system 1 rensas i dag från föroreningar genom att släppas i marken (Forsman, 2011, pers. komm.). Efter denna behandling mäts stubbarna in men den hårdhänta behandlingen gör att en del brännbart material förloras. Detta är ett tydligt exempel på att bättre rutiner måste tas fram.

Sällning är ett moment som tillkommer om stubbveden bedöms hålla för mycket föroreningar. 6 av de 21 objekt som ingick i studien hade blivit sällade. Under optimala förhållanden ska ingen sällning behöva göras. Det ska räcka med den rensning som sker

när stubblyftaren skakar stubbarna (Forsman, 2011, pers. komm.). Det skulle däremot vara intressant att se om man kan nå en högre lönsamhet för hela systemet genom att inte rensa stubbarna alls vid lyftning (och därmed uppnå en högre produktivitet vid lyftningen) för att sedan sålla stubbarna istället.

Uttag av stubbar innebär en omfattande markpåverkan, dels själva lyftningen men även för att det blir mer körning i terrängen. Effekterna av stubblyftningen på skogsproduktionen bedöms kortsiktigt vara små och snarare positiva än negativa då risken för snytbaggeangrepp och rotröta minskar. Stubblyftning ökar också mängden tillgängligt kväve i marken. Markvegetationen påverkas inte i någon större omfattning, samma gäller för den biologiska mångfalden. Däremot kan den ökade markpåverkan leda till ökad sedimenttransport (speciellt på finkorniga jordarter) och en förändring av markens kemiska sammansättning (Anon, 2007b).

4.4. Slutsatser

- Att transportera stubbarna okrossade till värmeverket är dyrt.
- Det billigaste systemet för upparbetning och vidaretransport är att grovkrossa stubbarna vid avlägg innan transport till värmeverk.
- Att krossa stubbarna på en terminal innan transport till värmeverk är kostsamt pga. höga transportkostnader av stubbarna från avlägg till terminal.
- Avgörande för lönsamheten är den tillgängliga stubbmängden per ha.
- Stubblyftningen och skotningen står för en stor del av den totala systemkostnaden, ca 60 %.
- Den stubbvolym som kan lyftas är ca 35 % av den avverkade stamvedsvolymen.

Referenser

Litteratur

Anerud, E. 2010. Stump as a fuel - the influence of harvesting technique and storage method on fuel quality of Norway spruce. Dept. of Energy and Technology SLU. Uppsala. Report 024.

Anon. 1977. Drivning - Slutrapport från projektgrupp Drivning, Projekt helträdsutnyttjande, Sveriges Skogsvårdförbund. Stockholm.

Anon. 2005. Förbränningsanläggningar för energiproduktion inklusive rökgaskondensering (utom avfallsförbränning). Naturvårdsverket, Stockholm. Branschfakta Utgåva 2:2005

Anon 2007a. (Hemsida för skogsindustrierna).
http://www.skogsindustrierna.org/web/Kraftig_okning_av_efterfragan_pa_biobransle_fran_skogen_Pressmeddelande_2007-11-29.aspx Uppdaterad 04-10-2010.

Anon. 2007b. Miljökonsekvenser av stubbskörd-en sammanställning av kunskap och kunskapsbehov. Statens energimyndighet.

Anon. 2008. Skogliga konsekvensanalyser 2008 -SKA-VB 08. Skogsstyrelsen, Jönköping.

Anon. 2009a. Energiläget 2009. Energimyndigheten, Eskilstuna.

Anon. 2009b. Stubbskörd - kunskapssamanställning och Skogsstyrelsens rekommendationer. Skogsstyrelsen, Jönköping. Meddelande 4:2009.

Anon 2010. (Hemsida för Norra Skogsägarna).
<http://www.norra.se/templates/Page.aspx?id=1392> Uppdaterad 23-09-2010.

Carlsson, T., Hansen, R., & Larsson, M. (1980). Lastbilstransporter av stubbar, träd, träddeklar och hyggesavfall - resultat av studier 1977-79. Stockholm: Forskningsstiftelsen Skogsarbeten.

Dimitris, A. Lindroos, O. Nordfjell, T. (In Press) Pine and spruce stump harvesting productivity and costs using a Pallari KH 160 stump lifting tool. Umeå. Scandinavian Journal of Forest Research

Egnell, G. 2008. Biobränslemarknaden i Sverige - en nulägesanalys. Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå. Skog & Trä 2008:1

Egnell, G. 2009. Skogsbränsle. Skogsstyrelsen, Jönköping. Skogsskötselserien nr 17.

Forsman, M., Lundgren, M., & Karlsson, N. 2010. Bioenergigårdar i ett nytt landskap Delprojekt skog - Lägesrapport & beskrivning av råvarukedjan. Norra Skogsägarna, Umeå.

Hedman, L. 2008. Produktivitet vid stubbskörd. Inst. för skoglig resurshushållning, SLU Umeå. Arbetsrapport 219.

Hofsten, v. H. 2006. Maskinell upptagning av stubbar. Skogforsk, Uppsala. Arbetsrapport 621.

Karlsson, J. 2007. Produktivitet vid stubblyftning. Inst. för skoglig resurshushållning, SLU Umeå. Arbetsrapport 168.

Laurila, J., & Lauhanen, R. 2010. Moisture Content of Norway Spruce. The Finnish Society of Forest Science, The Finnish Forest Research Institute, Ähtäri. *Silva Fennica* 44(3): 427 - 434.

Lindberg, D. 2008. Stubbtransporter och bränslekvalitet hos stubbved. Inst. för skoglig resurshushållning, SLU Umeå. Arbetsrapport 220.

Marklund, L. G. 1988. Biomassa funktioner för tall, gran och björk i Sverige. Inst. för skogstaxering, SLU Umeå. Rapport 45.

Petterson, H., & Göransson, S. 2006. Functions for below-ground biomass of *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Betula pendula* and *Betula pubescens* in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2006; 21(Suppl 7): 84 - 93. Umeå.

Ringman, M. 1995. Trädbränslesortiment - definitioner och egenskaper. SLU, Uppsala. Fakta skog, nr 5.

Strömberg, B. 2008. Stubbar som bränsle - Slutrapport inom området Oberoende FoU. TPS Branschforskningsprogram för Energiverk 2007/08, Nyköping.

Wasson, C. S. 2006. *System Analysis Design and Development*. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.

Vesa, L., & Palander, T. 2010. Modeling stump biomass of stands using harvester measurements for adaptive energy wood procurement systems. School of Forest Sciences, University of Eastern Finland, Joensuu.

Österlöf, P. 1979. Markberedning vid stubbrytning. Forskningsstiftelsen skogsarbeten, Stockholm. Redogörelse nr 5.

Personlig kommunikation

Forsman, M. Projektledare – Bioenergiårdar, Norra Skogsägarna. Fortlöpande kontakt 2010 -2011.

Holmström, J. Åkare. Telefonkontakt. November 2010.

Johanson, P. VD Norrlandsjord. Telefonkontakt. September 2010.

Nilsson, K. Bioswed. Telefonkontakt. Oktober 2010.

Persson, J. Åkare. Möte. Oktober 2010.

Wikman, L. Bränslespecialist, Umeå Energi. Telefonkontakt. Januari 2011.

Bilaga 1: Stubbkalk-instruktion

Allmänt om stubbkalk

Stubbkalk är ett verktyg för att räkna ut kostnaderna för hela systemkedjan vid hantering av stubbar, verktyget jämför kostnaderna för tre olika system och är därför ett effektivt verktyg i valet av system för stubbhantering. Systemen och deras ingående moment redovisas i tabell I. Varje moment utgör en enskild kostnadspost. Stubbkalk finns i fyra olika versioner. En version där man utgår från stubbdiametrar (stubbkalk 1), en version där man utgår från brösthöjdsdiametrar (stubbkalk 2), en version där man utgår från grundtyevägd brösthöjdsdiameter, stammar per ha och trädslagsfördelning (stubbkalk 3) och en version där man utgår från den avverkade stamvedsvolymen (Stubbkalk 4) Stubbkalk 1 och stubbkalk 2 skattar stubbmassan bäst enligt Marklunds formler eftersom de beräknar stubbmassan trädslagsvis. Stubbkalk 3 använder också Marklunds biomassafunktioner, men på medelvärden för ett helt bestånd, detta ger en stor osäkerhet i skattningen. Stubbkalk 4 ger ett relativt säkert värde så länge man känner till den avverkade volymen.

Tabell I. Ingående moment i de tre olika systemen

Table I. Tasks included in the three different systems

Moment	System 1	System 2	System 3
Drivning	Stubblyftning, skotning	Stubblyftning, skotning	Stubblyftning, skotning
Transport till terminal			Hela stubbar med stubbil
Upparbetning		Grovkrossning vid avlägg + finkrossning vid värmeverk	Finkrossning på terminal
Transport till värmeverk	Hela stubbar från avlägg med stubbil	Stubbkross från avlägg med flisbil/skopbil	Stubbkross från terminal med flisbil
Sållning	Vid behov	Vid behov	Vid behov
Fraktion vid mottagning värmeverk	Stubbdelar	Finkross	Finkross

I verktyget finns flera flikar som var och en har en funktion. Nedan presenteras dessa närmare.

Sammanställning

Här matar man in information som är knutet till objektet, rådande energipriser, val av maskiner:

- Objektsstorlek
- Antal stubbar i olika diameterklasser för gran, tall och björk (stubbkalk 1). Antal stammar i olika diameterklasser i brösthöjd (stubbkalk 2). Antal stammar/ha, grundtyevägd brösthöjdsdiameter och trädslagsfördelning (stubbkalk 3). Avverkad stamvedsvolym (stubbkalk 4).
- Antagande om fukthalt och askhalt vid inmätning (utifrån erfarenhetstal)
- Hur stor andel av den teoretiska stubbmängden som tas upp vid lyftning eller hur stor stubbvedsvolymer är i förhållande till stamvedsvolymer (stubbkalk 4).
- Transportavstånd till värmeverk, terminal samt mellan terminal och industri.
- Energipris: Krossade respektive okrossade stubbar (skillnaden i pris motsvarar uppdragskostnaden vid värmeverket).
- Ersättningschablon för lyftningen, kr/ha eller kr/timme.
- Val om sållning ska ske för något av objekten.
- Val av fordonskombination för system 2, flisbil eller skopbil.

I den här fliken sammanställs också kostnaderna. Kostnaderna visas för varje system uppdelade på de ingående momenten och presenteras därefter i kr totalt, kr/MWh, kr/ton TS och kr/m³f.

Systemvariabler

Här skrivs information om kostnader och prestationer in:

- Lyftningskostnad: Kr/timme + flyttkostnad eller enbart kr/ha
- Tidsåtgång: Lyftning, timmar/ha.
- Skotningskostnad: Kr/timme + flyttkostnad
- Tidsåtgång: Skotning, timmar/ha
- Transportkostnader för de olika lastbilskombinationerna: Stubbil, flisbil och skopbil. Kostnadsposterna är: En fast kostnad, kr/ton, en rörlig kostnad kr/ton*transportavståndet + en ersättning för underlast.
- Krossningskostnaden: Kr/ton + flyttkostnad, för system 1 kr/MWh (prisskillnaden mellan krossade och okrossade stubbar på industrin)
- Terminalavgift samt minsta stubbmängd för att öppna terminal (system 3)
- Kostnad för sållning (planerad och oplanerad): Kr/ton + flyttkostnad
- Vägunderhållskostnader, administration, löner och övriga kostnader.

Beräkningar

Här beräknas de totala driftskostnaderna för varje maskin utifrån det som matats in under flikarna sammanställning och maskinvariabler. **Inga ändringar görs under denna flik.**

Diagram

Visar kostnaden i kr/MWh och kr/ton TS för de 3 olika systemen vid olika transportavstånd, hyggesstorlek och stubbmängd/ha. **Inga ändringar görs under denna flik.**

Diagramunderlag

Här görs de beräkningar som ligger till grund för diagrammen i flik Diagram. **Inga ändringar görs under denna flik.**

Bilaga 2.

Tabell I. Inmättningsdata för de objekt som ingick i studien

Table I. Delivery report data on the stump harvested sites included in the study

Objekt	Areal (ha)	Inmätt volym (m ³ f)	Inmätt massa (råton)	F.H. (%)	A.H. (%)	Ton TS	ton TS/ha	W _{eff} (MWh/ton TS)	(MJ/kg TS)	Rådensitet (kg/m ³ f)
1.1	5,9	229	156	33	9	104	17,7	4,82	17,35	681
2.1	6,4	307	207	33	9	139	21,7	4,94	17,80	676
3.1	3,1	363	236	27	5	172	55,6	4,83	17,39	650
4.1	3,7	357	238	32	9	162	43,7	4,99	17,97	665
5.1	2	122	78	29	3	55	27,7	5,06	18,22	640
6.1	15,9	1355	881	23	2	678	42,6	5,14	18,51	650
7.1	2,8	189	129	34	10	85	30,5	4,87	17,55	686
8.1	5,1	262	171	22	4	133	26,1	4,99	17,98	650
9.1	1,4	161	113	35	4	73	52,3	4,74	17,05	701
10.1	12,4	758	612	48	9	318	25,7	4,16	14,98	807
11.1	6,3	421	291	33	7	195	31,0	4,67	16,80	693
12.1	6,8	426	277	19	12	224	33,0	4,54	16,34	650
13.2	6,7	565	341	24	15	259	38,7	4,29	15,43	603
14.2	11,2	721	546	40	4	328	29,3	4,76	17,14	757
15.2	6	272	188	33	6	126	21,0	4,10	14,76	693
16.2	5,2	272	166	25	6	125	24,0	4,28	15,41	611
17.2	3,4	393	290	43	40	165	48,6	4,51	16,22	738
18.2	6,3	288	198	38	5	123	19,5	4,39	15,80	687
19.3	3,1	181	129	42	8	75	24,1	4,48	16,13	713
20.3	2	163	109	37	8	69	34,3	4,47	16,09	669
21.3	5,8	466	336	42	8	195	33,6	4,42	15,90	721
Medel:	5,8			32,95	8,71		32,4	4,64	16,71	683
Stdav:				7,74	7,82		10,9	0,31	1,11	48

Tabell II. Antal tall och granstubbar per ha fördelat på diameterklasser (cm)*Table II.* Number of pine and spruce stumps per hectare, broken down by diameter classes (cm)

Objekt	Tallstubbar/ha fördelat på diameterklasser (cm)						Granstubbar/ha fördelat på diameterklasser (cm)					
	< 20	20-30	30-40	40-50	> 50	summa	< 20	20-30	30-40	40-50	> 50	summa
1.1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	509,6	164,5	79,6	15,9	0,0	769,6
2.1	0,0	5,3	15,9	5,3	0,0	26,5	159,2	445,9	180,5	15,9	0,0	801,5
3.1												
4.1	12,7	25,5	31,8	6,4	0,0	76,4	159,2	286,6	165,6	38,2	0,0	649,7
5.1	19,1	70,1	19,1	0,0	0,0	108,3	299,4	172,0	121,0	12,7	0,0	605,1
6.1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	51,8	83,6	175,2	139,3	0,1	465,8
7.1												
8.1	0,0	47,8	37,2	0,0	53,1	138,0	249,5	244,2	153,9	26,5	0,0	674,1
9.1	0,0	25,5	19,1	6,4	0,0	51,0	140,1	261,1	197,5	70,1	0,0	668,8
10.1	0,0	9,1	36,4	4,5	4,5	54,6	232,0	182,0	145,6	59,1	0,1	632,4
11.1	10,6	37,2	84,9	15,9	0,0	148,6	100,8	122,1	69,0	31,8	0,0	323,8
12.1	0,0	31,8	15,9	0,0	0,0	47,8	313,2	191,1	95,5	21,2	0,0	621,0
13.2	15,9	21,2	0,0	0,0	0,0	37,2	148,6	207,0	196,4	100,8	0,1	663,5
14.2	4,5	27,3	72,8	18,2	0,0	122,8	113,7	159,2	109,2	18,2	0,0	400,4
15.2												
16.2	0,0	0,0	31,8	37,2	0,0	69,0	63,7	69,0	111,5	58,4	0,0	307,9
17.2	0,0	25,5	38,2	12,7	0,0	76,4	248,4	235,7	197,5	6,4	0,0	687,9
18.2												
19.3												
20.3	12,7	44,6	31,8	25,5	0,0	114,6	178,3	280,3	133,8	57,3	0,1	662,4
21.3												

Tabell III. Transportavstånd (km) och total systemkostnad (kr/MWh) för alla objekt i studien uppdelat på de ingående momenten
Table III. Transport distance (km) and system cost (SEK/MWh) for all sites included in the study shown as total cost and cost for each task

Obj.	Trsp. Avst. Värmeverk (km)	Trsp. Avst. Terminal (km)	Lyftning (kr/ MWh)	Skotning (kr/ MWh)	Transport (kr/ MWh)	Upparb. (kr/ MWh)	Sållning (kr/ MWh)	Väg (kr/ MWh)	Tot. kost (kr/ MWh)
1.1	66		88	89	55	40		6	278
2.1	64		72	94	53	40		4	263
3.1	47		32	30	42	40	22	4	170
4.1	62		36	39	51	40		4	169
5.1	67		67	73	50	40		11	240
6.1	44		56	38	36	40	16	1	188
7.1	34		55	31	40	40	20	7	193
8.1	26		58	54	30	40		5	185
9.1	41		56	32	45	40	21	9	203
10.1	35		66	47	60	40		2	216
11.1	44		129	47	46	40	21	3	286
12.1	51		50	53	42	40		3	188
13.2	99		42	49	21	52		3	167
14.2	60		87	48	16	57		2	211
15.2	51		109	72	15	66		6	268
16.2	18		73	99	7	58		6	242
17.2	74		50	31	21	67	25	4	198
18.2	59		61	42	16	66		6	191
19.3	70	22	69	81	61	42		9	263
20.3	70	25	49	81	58	39		10	237
21.3	70	20	51	82	61	43		3	240