Produktivitet vid stubbskörd

Productivity at stump harvest

Linnea Hedman

Arbetsrapport 219 2008
Examensarbete 30hp D

Handledare:
Tomas Nordfjell

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

ISSN 1401–1204
ISRN SLU–SRG–AR–219–SE

Produktivitet vid stubbskörd

Productivity at stump harvest

Linnea Hedman

Examensarbete i ämnet skogshushållning med inriktning teknik
Handledare: Tomas Nordfjell
Examinator: Iwan Wästerlund

Förord

Tack till er alla som hjälp till under de olika delarna av detta examensarbete. Tack till mina handledare, Tomas Nordfjell på SLU och Daniel Johansson på Holmen skog. Tack Johan Karlsson för att du kunde svara på frågor under vägen och förklara hur du hade gjort. Tack till alla inblandade under fältarbetet nere i Norrköping, framförallt Håkan Svensson som var produktionsledare på den trakt där mina stubbar fanns. Tack till de maskinförare som lät sig filmas under arbetet och alla andra som hanterade mina stubbar från marken till förbränningen. Tack till Hans Petterson vid SLU för hjälp att tyda Marklunds biomassafunktioner och tack till Solveig Berg Lejon och Sören Holm för stöd under det statistiska arbetet.

Sammanfattning

Stubbskörd var aktuellt på 1970-80-talet, och har med stigande energipriser återigen blivit en het fråga. Det här arbetet har utförts inom Holmen skogs stubbskördsförsök i Norrköping och syftet var att: undersöka tidsåtgången för skörd och skotning av stubbar samt fördelningen av tiden på olika arbetsmoment. Vidare utföra en ekonomisk analys av stubbskörd och bedöma antal och kvalité på markberedningspunkter efter stubbskörd där inga extra markberedningsåtgärder genomförs och sammanställa en översikt av marknadens olika stubbskördsaggregat.

Det finns 3-4 olika stubbskördsaggregat på marknaden, vanligast är det finländska aggregatet Pallari. Det har använts i den här studien där skörd av ca 400 stubbar har tidsstuderats. Produktiviteten vid stubbskörd var i medeltal 4,1 tonTS/G_0-tim och medelstubben var på 131 kgTS. Tiden för att lyfta stubbar var beroende på stubbarnas diameter, trädslag och markens fuktighet. Granstubbar på frisk mark tog kortare tid att skörda än granstubbar på fuktig mark. Tallstubbar på frisk mark tog längre tid att skörda än granstubbar på frisk mark. En stubbe med diametern 20 cm tog ca 55-70 s att skörda och en stubbe med diameter 60 cm tog ca 160-220 s att skörda. Beroende på stora stubbars större volym blev ändå produktionen i tonTS/tim betydligt högre för stora stubbar. Kostnaden för stubbskörd och skotning med den här metoden var 77 SEK/MWh när 100 % av stubbarna tas ut. Det genomsnittliga uttaget var 54,7 tonTS/ha. Kranarbete var det moment som tog längst tid vid stubbskörd (48 %). Därefter följde rensning med 20 % och upplyftning med 18 % av tiden. Antalet markberedningpunkter var i genomsnitt 3675 stycken per hektar.

Nyckelord: Stubbrytning, Stubblyftning, Stubbskotning, Stubbdrivning, Tidsstudie, Kostnader

Summary

Stump harvest could be found in the late 1970's and the early 1980's. And now when the prices on energy are high it has become an interesting topic again. This work has been conducted within Holmen Skog's stump harvest testing in Norrköping. The purpose was to: Investigate the time consumption for harvesting and forwarding of stumps and the distribution of time on the different work phases; Make an economic analysis of stump harvest; Evaluate the number of, and quality of, the soil preparation were no extra measure was taken; Make an overview of the market of stump harvest devices.

There are 3-4 different devices for stump harvest on the market and the most common is the Finnish device Pallari. It has been used in this study where harvest of ca 400 stumps has been studied and the time consumption has been recorded. The productivity of stump harvest was on average 4.1 tonTS/G_0-tim and the mean size of the stump was 131 kgTS. Time consumption was different according to the diameter of the stump, tree species and the humidity of the soil. Stumps from spruce on fresh soil took less time to harvest than stumps from spruce on moist soil. Stumps from pine took more time to harvest than stumps from spruce. A stump with a diameter of 20 cm took 55-70 s to harvest and a stump with a diameter of 60 cm took 170-220 s to harvest. Due to the larger stumps higher volume was the production in tonTS/h considerable higher for large stumps. The cost for stump harvest and forwarding with this method was on average 77 SEK/MWh when 100 % of the stumps were removed. The average withdrawal was 54.7 tonTS/ha. Crane movement was the work phase that took the longest time, 48 % of the total time consumption was due to that phase. The number of soil preparation points was on average 3675 per hectare.

Innehållsförteckning

Förord....2
Sammanfattning....3
Summary....4
Innehållsförteckning....5
1 Inledning....6
1.1 Biobränsle idag....6
1.2 Stubbskörd....7
1.2.1 Historik....7
1.2.2 Teknik....8
1.2.3 Produktivitet....9
1.2.4 Lämpliga marker och miljöhänsyn....11
1.2.5 Forskning....11
2 Material och metoder....13
2.1 Marknadsundersökning....13
2.2 Studie av stubbskörd....13
2.2.1 Teoretisk mängd stubbmaterial....13
2.2.2 Försöksparceller....13
2.2.3 Stubbskörd....14
2.2.4 Tidsstudie och momentindelning....16
2.2.5 Analys av data....17
2.3 Markberedning....17
2.4 Tidsstudie stubbskotare....18
2.5 Ekonomi....20
3 Resultat....21
3.1 Marknadsundersökning....21
3.1.1 Pallari....21
3.1.2 Nya aggregat....22
3.2 Tidsstudie stubbskörd....25
3.3 Tidsstudie stubbskotare....30
3.4 Markberedning....31
3.5 Ekonomi....32
4 Diskussion....33
4.1 Material och metoder....33
4.2 Jämförelser med andra studier....33
4.2.1 Ekonomi....35
4.2.2 Känslighetsanalys uttagsprocent....35
Referenser....37

1 Inledning

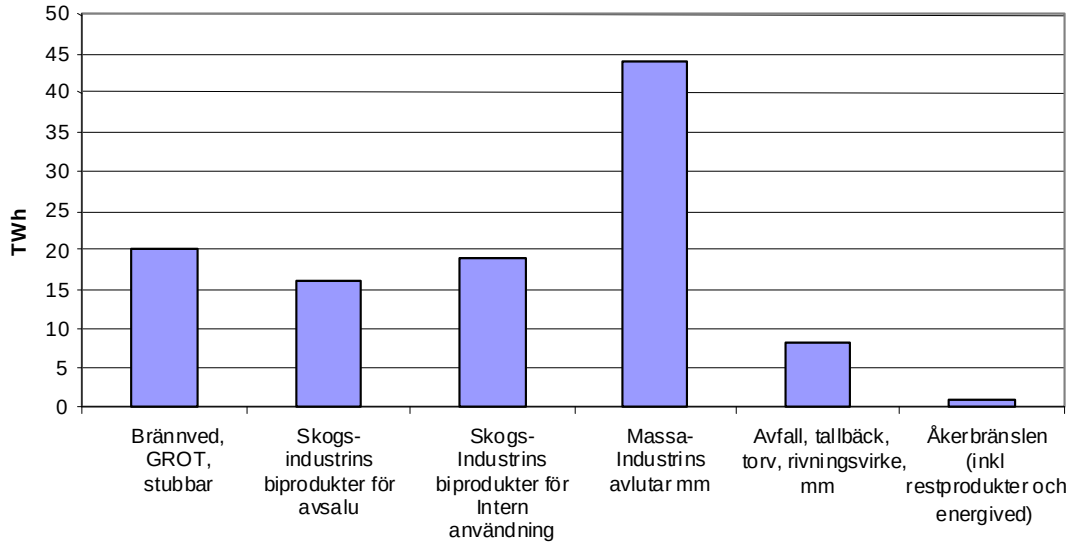
1.1 Biobränsle idag

Biobränsle kommer från biologiskt brännbart material som ved, skogsflis, bark, spån, energiskog, energigrödor, lutar från pappersmassatillverkning, hushålls och industriavfall. Det står för ca 18 % av Sveriges energitillförsel vilket gör att vi tillsammans med Finland har störst andel biobränslen i Europa (Johansson 2007).

Riksdagen har antagit sexton miljömål. I det första av målen, ”Begränsad klimatpåverkan”, står det att vi ska sänka våra utsläpp av växthusgaser så att ett medelvärde under perioden 2008-2012 är minst 4 % lägre än under år 1990. Samtidigt ska den biologiska mångfalden bevaras, livsmedelsproduktionen säkerställs och andra mål för hållbar utveckling inte äventyras (Egnell m.fl. 2007). För att åstadkomma det behöver användningen av fossila bränslen minskas. Det kan göras både genom energieffektivisering, alltså minskning av den totala energitillförseln, och genom ersättning med förnyelsebara energikällor. En av dessa som har utvecklingspotential i Sverige är biobränslen (Anon. 2006).

EU-kommissionen har antagit nya klimatmål i början av år 2008. Där står det att Sveriges del i arbetet med att nå de gemensamma målen är att minska koldioxidutsläppen med 17 % från år 2005-2020 och att andelen förnyelsebar energi ska vara 49 % innan år 2020 (Anon. 2008a).

Största delen av biobränsletillförseln i Sverige kommer från skogen (fig. 1). Det mesta är via industrins restprodukter t.ex. spån och bark samt en stor del som avlutar från den kemiska massaindustrin. En mindre del kommer direkt från skogen som t.ex. GROT – grenar och toppar som är rester från avverkning, och brännved.



Figur 1. Tillförsel av biobränsle i Sverige 2005, fördelat på olika biobränslekällor (Anon. 2006a).
Figure 1*. Supply of biofuel in Sweden 2005, divided on different sources of bioenergy.*

Enligt Anon (2006) bedöms det vara möjligt att öka användningen av biobränslen från 108 till 228 TWh under de närmsta 45 åren. Idag producerar skogsmarken 94 TWh och enligt deras bedömning kan det öka med ca 30 TWh genom effektivare skogsbruk och förbättrad skogsvård. I beräkningarna ingår stubbar som en bioenergikälla. Idag bryts inte stubbar i

kommersiell skala i Sverige, men för att öka biobränslet från skogen är det möjligt att ta ut även denna råvara (Egnell m.fl. 2007). I Finland pågår stubbskörd för energiproduktion i stor skala. I mellersta Finland tas stubbarna omhand på ca 15 % av föryngringsytorna (Anon. 2007b).

Totalt användes 45 % av den skogsbiomassa som avverkades 2003 i Sverige till energi. Antingen direkt som brännved eller via industrins restprodukter (Johansson 2007). Sedan tillkommer bränning av uttjänta skogsprodukter som sågade varor och papper som inte är med i den primära beräkningen. En stor del av skogsprodukterna förbränns efter att de tjänat klart sitt syfte som byggmaterial, möbler eller papper.

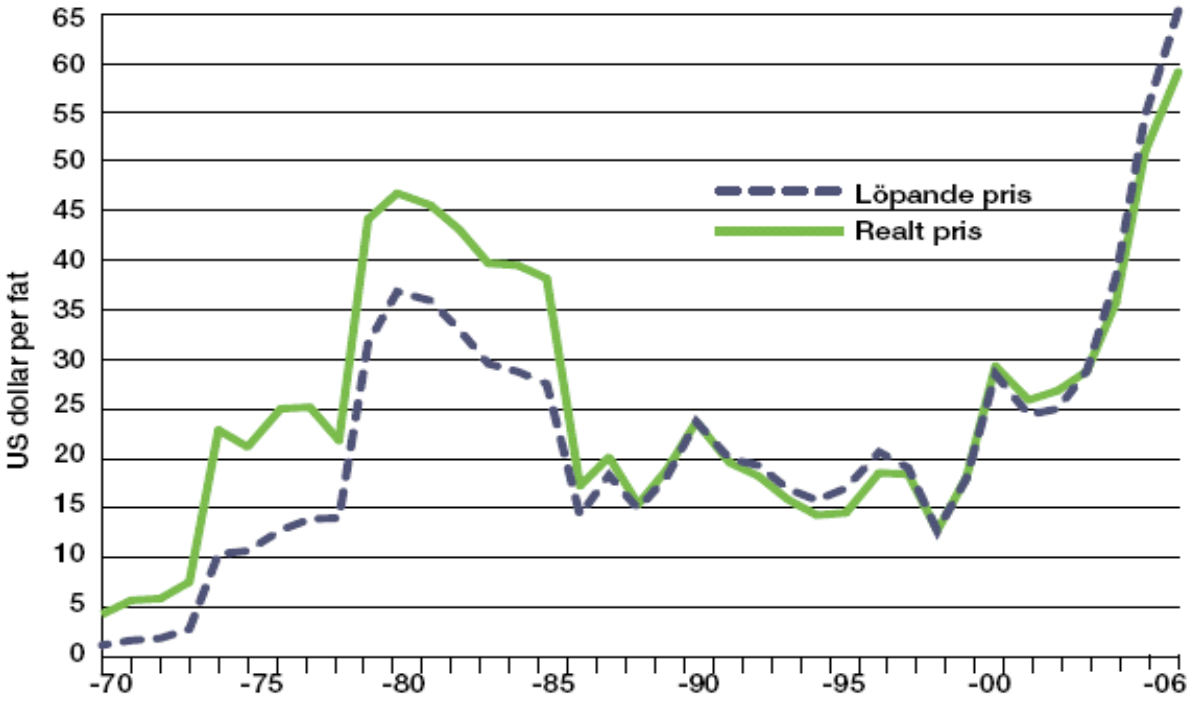
I ett pressmeddelande säger Skogsindustrierna att efterfrågan på biobränsle kommer att bli större än man tidigare trott (Anon. 2007c). Deras analys visar att värmeverkens efterfrågan på skogsbiobränsle kommer att öka med 13,6 TWh fram till 2015, vilket är 17 % mer än tidigare studier visat. De tror att uttaget av GROT går att fördubbla så att ytterligare 7 TWh går att ta ut i det sortimentet, men för att tillfredställa hela behovet kommer inte det att räcka. Då måste nya tekniker utvecklas och enligt Stefan Wirtén, Skogsdirektör på Skogsindustrierna, så är stubbarna den mest lovande råvaran (Anon. 2007c). Det finns lika stor energipotential hos stubbar som hos GROT (Egnell m.fl. 2007).

1.2 Stubbskörd

1.2.1 Historik

Stubbved har använts till olika saker under gångna tider. Under 1800-talet var de den främsta källan för tjärframställning. Då var det tallstubbar som brändes i tjärdalar i skogen (Jonsson 1985). Senare blev användningsområden för stubbar intressanta för tillverkning av cellulosaflis eller alternativt för energi när oljepriset chockhöjdes i början på 70-talet.

Projekt helträdsutnyttjande (PHU) startade hösten 1974 som ett samarbetsprojekt mellan Skogshögskolan och Skogsindustrierna. Projektets målsättning var att finna lämpliga avverknings- och transportmetoder för att med godtagbar lönsamhet tillvarata en större del av biomassan, främst som industriell råvara alternativt som bränsle. Klena träd samt stubb- och rotved bedömdes vara de råvaror, som hade de bästa förutsättningarna för industriellt utnyttjande, medan hyggesavfall lämpade sig för bränsleändamål (Anon. 1977). Projektet utredde bl.a. metoder och teknik om stubbar skulle kunna användas till massaframställning eftersom det befarades att det skulle bli råvarubrist för cellulosaindustrin (Jonsson 1985). Detta testades i stor skala genom att företagen STORA och Korsnäs år 1976 bildade Mackmyra cellulosaflis AB där de ägde hälften var. Där skulle stubbved flisas till cellulosaanvändning och bränsle. De hade problem med stora mängder föroreningar av mineraljord och sten i råvaran och fick svårt med lönsamheten då massaframställning kräver en ren råvara (Jonsson 1985). På den tiden bedömdes flis från stubbar vara för dyr för att kunna användas för energiändamål (Jonsson, 1985). Mackmyra anläggningen hade en årsproduktion kring 150 000 m^3f cellulosaflis under den verksamma tiden (Jonsson 1985) men stängdes i slutet på 1980-talet.
Oljepriset sjönk kraftigt under 1980-talet och när Mackmyra Cellulosaflis AB lades ned var priserna nere på ca 16 dollar per fat (fig. 2). Nu är oljepriset på högre nivåer än de var under oljekrisen på 1970-talet vilket gör att efterfrågan på biobränsle återigen ökar.



Figur 2. Oljeprisets utveckling under de senaste 36 åren (Anon 2007a).
Figure 2*. The development of oil prices during the last 36 years.*

1.2.2 Teknik

Stubbar skördas efter avverkning och i de flesta fall har även GROT transporterats från hygget (Karlsson 2007). Skörd av stubbar kan ske direkt efter avverkning men det går även bra att vänta några månader med åtgärden. Det är möjligt att skörda stubbar de delar av året när det inte är för mycket snö och tjäldjupet inte överstiger 10 cm. På hyggen med dålig bärighet är det en fördel att skota ut stubbarna på tjälad mark.

När stubbarna är upplyfta skakas de för att rensas på jord och sten. Det sker både genom direkta skakningar med maskinens kran och genom att släppa ned stubbarna på marken i flera omgångar. Skakningen ska helst ske över det hål som bildats när stubben lyfts ur marken. Vid nedsläppning i syfte att rensa stubben kan den släppas på intilliggande stubbar eller stenar för att få en bra sönderdelning av stubben (Karlsson 2007). Skakningen är ett tidskrävande moment som kan vara svår med Pallariaggregatet eftersom det har dålig gripfunktion (Jonsson 1985). Istället föreslog Jonsson på 1980-talet att särskilda rensningsmaskiner används t.ex. vid skotningen av stubbdelarna eller vid avlägget. Idag finns inte den typen av maskiner utan de mesta av stubbarna rensas i samband med brytningen. Kraven på renhet är lägre när stubbarna ska krossas och eldas istället för att de ska bli pappersmassa, men föroreningar är ändå ett stort problem vid förbränning av stubbmaterial.

Under skakningen delas även stubbarna i mindre delar. Det sker dels genom klyvning med aggregatet men även genom att stubbarna faller sönder vid nedsläppning på marken. Sönderdelning görs av flera orsaker. Det förenklar upptagningen, ökar rensningen av jord och sten, underlättar torkningen av stubbarna samt gör stubbdelarna mindre skrymmande vid transporter (Karlsson 2007).

Efter rensning och sönderdelning läggs stubbdelarna i högar på hygget för att sedan skotas ut till avlägg vid bilväg (fig. 3). Högarna kan ligga kvar på hygget för att torka och för att rensas på ytterligare jord då de utsätts för regn och vind. Stubbveden har bra lagringsegenskaper d.v.s. de bryts inte ned nämnvärt vid lagring och tar inte åt sig mycket fukt på vintern. Oftast ligger fukthalten under 40 % för stubbveden även på vintern medan den för flis och bark kan vara upp mot 60 % (Alakangas 2005).

Figur 3. En hög med stubbdelar upplagda på ett hygge efter skörd.
Figure 3*. A pile of stumps on the clear-cut area after harvest.*

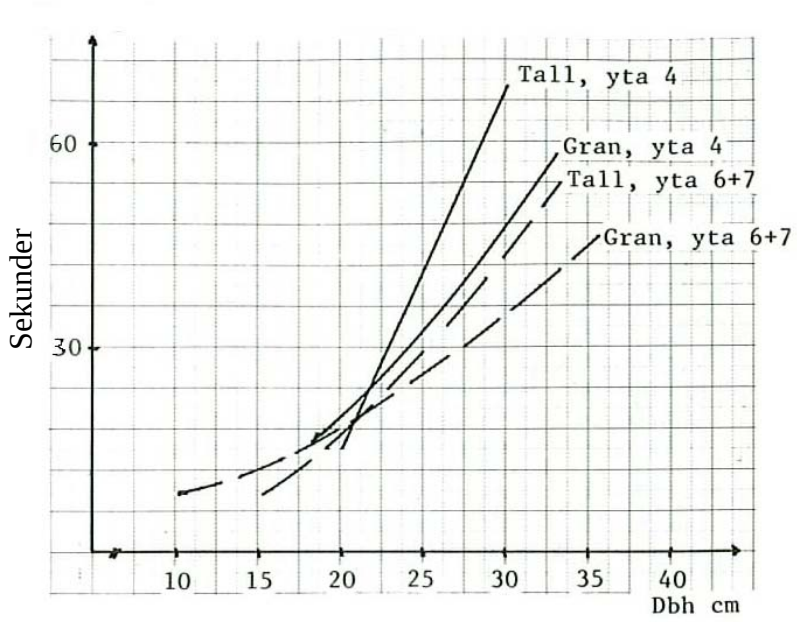
Vid skotningen används en skotare som kan vara extrautrustad med antingen en balja att lasta i eller med bakgrind, GROT underrede och en extra banke (Karlsson 2007). Ett problem vid transport av stubbdelar både i terräng och på väg är att stubbdelarna kan vara skrymmande och att det därför är svårt att maximera lastvikterna (Jonsson 1985). Det kan bli bättre genom att stubben klipps i fler delar på hygget och att den packas ihop på något sätt vid transporten.

Från avlägget körs sedan stubbarna in till industri antingen som stubbdelar med t.ex. en lastbil anpassad för GROT transport eller så flisas de vid avlägget och körs in med flisbilar (Lindberg pers. medd. 2008).

1.2.3 Produktivitet

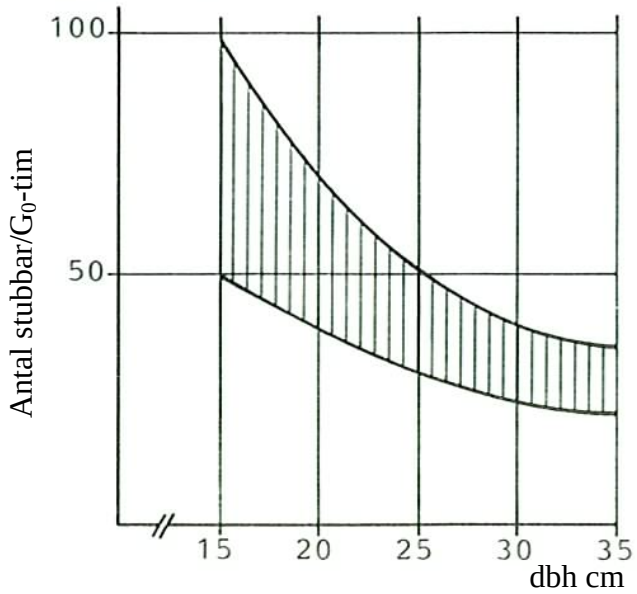
Produktiviteten varierar beroende på bl.a. terrängförhållandena och stubbarnas diameter (Nylinder 1977). I en studie från 1970-talet gjord på det Finländska aggregatet Pallari var den genomsnittliga produktiviteten 2-5 m^3f stubbved per G_{15}-timme. På yta fyra i figur 4 användes det finländska ursprungsaggregatet och på ytorna 6 och 7 användes en modifierade version av det aggregatet. Terrängförhållandena var 211 enligt terrängtypschemat på alla

ytorna. Produktiviteten var lägre med originalaggregatet (fig. 4.). Det tog längre tid att ta upp en tallstubbe än en granstubbe av samma diameter.



Figur 4. Upptagningstiden (endast upptagning, ej andra moment som t.ex. skakning eller körning) (s) som en funktion av brösthöjdsdiameter (cm) (Efter Nylinder 1977).
Figure 4. *The time for lifting of stumps (s) as a function of the diameter of the tree at breast height (cm).*

En sammanställning av de produktionsstudier som gjordes i slutet av 1970-talet och början av 1980-talet visade att antalet upptagna stubbar per timme minskade när stubbens diameter ökade (fig. 5). Prestationsnivån i studien förutsatte att maskinen i samband med upptagningen skakade stubbarna och sönderdelade dem till maximimått enligt Mackmyra Cellulosaflis AB:s instruktion.



Figur 5. Produktion vid stubbskörd (Antal stubbar/G_0-tim) som funktion av trädens brösthöjdsdiameter (cm) (Efter Jonsson 1985).

***Figure 5**. Production of stump harvest (stumps/ G_0-h) as a function of the trees diameter at breast height (cm).*

1.2.4 Lämpliga marker och miljöhänsyn

Stubbskörd är aktuellt efter föryngringsavverkning. Efter gallring är risken för skador på de kvarvarande träden för stor. Det är i första hand grandominerade marker som är intressanta för stubbskörd idag. Detta p.g.a. att granstubbarna anses lättare att bryta och att utbytet för granstubbar är högre än för andra trädslag. Tallstubbar är något mer tidskrävande, men det är inte uteslutet att skörda även dessa. Av naturvårdsskäl bör stubbar inte brytas på lövdominerade marker. I Finland, där stubbskörd har pågått några år, har man som grundregel att stubbar med diameter mellan 20 cm och 70 cm skördas. Större och mindre stubbar lämnas kvar. Totalt lämnas ca 25 % av stubbarna kvar i marken liksom huvuddelen av rötterna. Detta av naturvårdsskäl och för att markens produktionsförmåga inte ska minska (Karlsson 2007).

Marker med risk för spårbildning som kan ge bestående markskador och erosionsproblem bör undvikas. Det kan t.ex. vara fuktiga och/eller finjordsrika marker. Magra och torra marker med tunt humustäcke bör inte heller användas till stubbskörd. Likaså marker med ytstruktur och lutning som överskrider 3 i terrängtypschemat (Berg 1985) beroende på bristande framkomlighet för bandgående grävmaskiner. Dessutom är det viktigt att kantzoner mot vattendrag, sjöar och myrmarker lämnas orörda för att undvika läckage av humus och näringsämnen från hygget. Skogsmark nära tätorter eller andra områden som har många besökare bör inte heller stubbskördas då det kan upplevas som sämre rekreationsskogar några år efter stubbskörd (Egnell m.fl. 2007).

En av vinsterna med stubbskörd är att markberedningen kan utföras med samma maskin som stubbskörden. På så sätt blir det ingen extra belastning på marken av fler maskiner och kostnaden för markberedningen minskar. Totalt sett blir det ändå en maskin mer vid stubbskörd eftersom stubbarna skotas ut av en annan maskin än den som skördar dem.

1.2.5 Forskning

Under 1970-talet och början på 1980-talet gjordes ett antal studier kring stubbskörd, både gällande produktion och gällande miljökonsekvenser. När sedan efterfrågan gick ned och oljepriset sjönk saknades det ekonomiskt intresse för att fortsätta med stubbskörd och forskningen har i princip stått stilla på det området fram till senare år. Under 2006 utfördes en produktionsstudie på stubbskörd i norra Sverige (Karlsson 2007). Det var ett examensarbete på institutionen för skoglig resurshushållning vid SLU i Umeå. Energimyndigheten publicerade en rapport (Egnell m.fl. 2007) med en sammanställning av kunskapsläget kring miljökonsekvenser av stubbskörd. På flera områden finns det bristande kunskaper och fler studier behövs i framtiden, kring produktion, ekonomi och miljöpåverkan. Denna studie ska komplettera den produktionsstudie som genomfördes av Karlsson (2007) men på en bördigare mark.

Flera skogsbolag har under de senaste året börjat skörda stubbar på försök. Denna studie har genomförts i samarbete med Holmen skog. De har under 2007 skördat stubbar i ett försök på egen skog i trakterna kring Norrköping.

Syftet med denna studie var att undersöka tidsåtgången för skörd och skotning av stubbar med fördelningen av tiden på olika arbetsmoment samt göra en ekonomisk analys av kostnaderna vid stubbskörd. Vidare göra en bedömning av markberedningspunkter efter

stubbskörden utan att annan markberedning gjorts, med avseende på antal och kvalité på planteringspunkterna. Slutligen göra en översikt av dagens förekommande aggregat för stubbskörd.

2 Material och metoder

2.1 Marknadsundersökning

En sammanställning av marknadens stubbskördsaggregat utfördes via litteratursökning, hemsidor och muntliga kontakter med entreprenörer och försäljare.

2.2 Studie av stubbskörd

Tidsstudier av stubbskörd gjordes på fyra 0,2-0,36 ha stora parceller på olika områden inom en trakt. På dessa ytor mättes alla stubbar in med diameter, höjd och trädslag, samt märktes med nummer. Markfuktigheten vid stubben noterades i klasserna frisk eller fuktig. Skörd utfördes under två dagar och filmades för senare tidsstudier inomhus. Markberedning bedömdes efter att stubbarna lyfts ur marken men före utskotningen av dem. Efter skotningen av stubbarna till avlägg, transporterades de med GROT-bil till värmeverk och där vägdes de och prover togs på fukthalt och askhalt. Tid mellan upptagning och provtagning var ca en vecka. Eftersom studien gjordes i maj månad förväntades inga större skillnader i fukthalt.

Tidsstudien av skotningen genomfördes vid ett senare tillfälle direkt i fält inom samma trakt, men inte på samma stubbar.

2.2.1 Teoretisk mängd stubbmaterial

De förväntade torrvikterna från stubbarna beräknades enligt biomassafunktioner (Marklund 1988). De utgår från trädets diameter i brösthöjd (dbh) och därför behövs ett omvandligstal från stubbdiameter till dbh. Det som användes var 0,806 för tall, 0,765 för gran och 0,740 för löv (Karlsson 2007). Eftersom det inte finns någon stubbiomassafunktion för lövträd användes funktionen för tall även till asp och övrigt löv.

Tabell 1. Funktioner för beräkning av stubbrotsystemets torrvikt (Marklund 1988)
Table 1. *Equations for calculating the dry mass of the stump and roots*

Trädslag	Funktion
Tall:	Massan $=e^{((d/(d+12))\times 11,1106-3,3913)}$
Gran:	Massan $=e^{((d/(d+14))\times 10,5381-2,4447)}$
	Massan = kgTS; d=dbh i cm

2.2.2 Försöksparceller

Inom Holmens stubbskördsförsök om totalt 100 ha mark på distrikt Egen Skog i Norrköping valdes den trakt där markförhållandena ansågs vara bra för tidsstudierna. Bedömningen gjordes av de inblandade produktionsledarna på distriktet. Den trakt de valde var Öllösa 1-211444. Fyra områden valdes ut inom den trakten och från dessa skotades riset ut innan de slutliga parcellerna märktes upp. Ytstruktur och lutning hölls så konstanta som möjligt inom och mellan de fyra parcellerna. På de områden som studien genomfördes varierade GYL från 111 till 411 enligt terrängtypschemat (Berg 1985). I medel över ytorna var GYL 311.

Inom varje område avgränsades en parcell som innehöll minst 100 markerade stubbar. Parcellernas area mättes med måttband. Två av parcellerna låg i kanten mot en bäck och där var marken delvis fuktig.

Tabell 2. Grunddata från de fyra parcellerna innan tidsstudien genomfördes
Table 2*. Data from the parcels within the time study*

Parcell	**1**	**2**	**3**	**4**	**medel**
Areal (ha)	0,19	0,20	0,20	0,36	0,24
Antal stubbar (st)	100	100	118	94	103
Antal stubbar/ha (st/ha)	526	500	590	261	469
Andel Tall (%)	17	41	37	20	29
Andel Gran (%)	68	52	58	73	63
Andel Asp (%)	13	0	0	1	4
Andel Övrigt löv (%)	2	7	4	5	5
Andel fuktig mark* (%)	10	0	0	28	9
Aritmetisk medelstubbdiameter (cm ± sd)	38,4 ± 10,0	34,0 ± 8,7	35,2 ± 11,0	44,5 ± 12,9	38,0
Aritmetisk medelstubbhöjd (cm ± sd)	29,4 ± 10,6	20,6 ± 8,1	18,4 ± 7,6	28,2 ± 10,8	24,1
Massa / stubbe** (kgTS)	110,8	84,5	95,4	158,4	112,3
Massa** (ton TS)	11,1	8,5	11,1	14,9	11,4
Massa** (ton TS/ha)	58,3	42,3	55,3	41,4	49,3

*Fuktig mark G=4-5 enligt Berg (1985).
**Enligt Marklund (1988).

Arealen för ytorna varierade mellan 0,19 och 0,36 hektar. Antalet inventerade stubbar var mellan 94 och 118 stycken per parcell. Den största ytan hade det minsta antalet stubbar och stubbtätheten varierade från 261 till 590 stubbar per hektar. Den glesa ytan hade dock de grövsta stubbarna så den beräknade massan stubbar per hektar varierade mindre, från 41,4 till 58,3 ton TS per hektar.

Andelen gran låg mellan 52 % och 73 % och lövandelen mellan 4 % och 15 %. I parcell 1 fanns det 13 % asp, medan de bara fanns någon enstaka asp i de övriga parcellerna. Parcell 2 och 3 hade störst tallandel med ca 40 % och ingen andel fuktig mark.

Medeldiametern varierade från 35 cm till nästan 45 cm medan medelvärden på stubbhöjden var mellan 21 och 29 cm.

Enligt beräkningar med biomassafunktioner var den genomsnittliga stubbens torrvikt 112 kg (Marklund 1988).

2.2.3 Stubbskörd

Stubbskörden utfördes med en grävmaskin av märket Volvo modell EC 210 (BMC) av årsmodell 2006 med massan 23 ton och brytkraft på 130 kN. Ett Pallari aggregat (fig. 6) av modellen KH 160 och tillverkningsår 2005 eller 2006 var monterat i kranen. Skörden filmades, ett stativ användes för att få stabil bildkvalité och en kommunikationsradio användes för att kunna meddela föraren när t.ex. bandet eller batteriet i kameran behövde bytas. De nummer som stubbarna fått vid inventeringen lästes upp av filmaren vid upplyftningen av varje stubbe. På vissa delar av ytorna såg maskinföraren siffrorna tydligare

än filmaren och då läste han upp siffrorna i kommunikationsradion, vilket framgick av banden. I de fall som extra tid åtgick till det så klassades det som avbrott i studien.

Stubbskörden genomfördes under två dagar i början av juni 2007. Vädret var vid tillfället klart och varmt och det var för årstiden normalt fuktigt i marken.

Från de olika parcellerna skotades stubbarna ut och lades i separata högar vid vägkant. Därefter kördes de in till E.ONs kraftvärmevärk i Norrköping där de vägdes in och sedan krossades i sopkrossen. Ur fallande flöde togs ca 10 kg krossat material från varje hög i en plastsäck och från det gjordes 10 fukthaltsprover på varje hög. Det som blev kvar i säcken skickades till Belab för askhaltsanalys.

Beräkningen av torrsubstansen gjordes enligt följande formel:

TS = (Rå × (1-fukt)) × ((1-aska) + 0,005)

TS= torrsubstans (tonTS)
Rå= rå massa (ton)
Fukt= fukthalt (%/100)
Aska= askhalt (%/100)

Det är ren torrsubstans där både fukt och aska räknats bort, samt att den naturliga askhalten i stubbved lagts till. Den är 0,5 % enligt Alakangas (2005).

Till omvandlingen från ton till MWh har följande formel använts (Norin pers. medd. 2007):
Beräkning av energiinnehållet (MWH/råton) = (Ö×((1-A/100)×(1-F/100))-(Å×F/100))/3,6

A=askhalt (13,3% - från resultaten i den här studien)
F=Fukthalt (38,5% - från resultaten i den här studien)
Å=Ångbildningsvärme (2,44 MJ/kg - konstant)
Ö=Övre värmevärde (20 MJ/kg TS enligt Alakangas (2005))

Det ger ett energiinnehåll på 2,70 MWh/råton

2.2.4 Tidsstudie och momentindelning

Tidsstudien genomfördes inomhus vid skärm med en Husky Hunter tidsstudiedator med programmet Siwork 3. När tidsstudien genomfördes kunde några stubbar inte återfinnas på banden. På yta ett saknades flest stubbar, där var det 6 stubbar som inte fanns med. Totalt var det 12 stubbar från de fyra ytorna som inte kom med på filmen.

Resultaten blir i enheten centiminuter när de registreras i Siwork 3. Dessa har sedan räknats om till sekunder, minuter eller timmar innan de presenteras i arbetet.

Stubbskörden inleddes med att aggregatet grep tag i en stubbe i marken (tabell 3). Sedan lyftes den upp hel eller klövs i marken och lyftes i delar. Därefter följde momentet rensning när stubben skakades i luften eller släptes ned i backen upprepade gånger för att bli av med vidhäftande jord. Efter det följde momentet kranrörelse där maskinen flyttade stubbdelarna från platsen där stubben lyfts ur marken till den hög med stubbdelar som skotaren sedan kör ut till vältor vid vägkant. Många stubbar delades i flera delar och då innehöll momentet kranrörelse även plockning av delarna från marken och de horisontella kranrörelserna till och från högen. Vid vissa stubbar utgick rensningsmomentet och kranarbete tog över direkt efter upplyftning.

Efter att en stubbe var upplyft och lagd i en hög kunde aggregatet användas till att skrapa ner jord i den grop som bildas där stubben varit. Sedan följde ofta moment körning då maskinen förflyttade sig till nästa stubbe. Tid som var produktiv men inte kunde hänföras till något av de redan beskrivna momenten klassades som övrig tid. Det kunde t.ex. vara tillredning av väg eller tid då föraren planerade för var han skulle köra.

Avbrott var den tid som inte är produktiv, t.ex. kommunikation mellan föraren och filmaren samt extra körning för att läsa nummer på stubbarna.

De olika arbetsmomenten har tilldelats olika prioritet. Det betyder att om flera moment utfördes samtidigt så räknas det momentet som har prioritet 1 före det som har 2.

Tabell 3. Beskrivning av arbetsmoment och momentgränser vid stubbskörd
Table 3*. Description of the different work elements at stump harvest*

Arbetsmoment	Benämning	Momentgräns	Prioritet
Upplyftning	Uppl	Börjar med att aggregatet tar stubben som ska lyftas. Avslutas när kranen efter lyftningen är i sitt högsta läge.	1
Kranrörelser	Kran	Börjar när kranen rör sig i sidled och slutar när kranen står stilla. Även plockning av redan upplyfta delar.	1
Rensning	Rens	När maskinen klyver och släpper ned stubb-delar i marken för att rensa dem från jord. Även plockning med stubbdelar i högen.	2
Igenläggning av hål	Mark	Börjar när aggregatet tar i marken, slutar när maskinen övergår till annan aktivitet.	1
Körning	Korn	Börjar då maskinen startar en rörelse i någon riktning och avslutas när maskinen står stilla igen.	2
Övrigt	Ovri	Aktivitet som inte passar in i ovan nämnda.	2
Avbrott	Avbr	Driftstörning.	2

2.2.5 Analys av data

En regressionsanalys över tidsåtgången genomfördes med variablerna stubbdiameter, trädslag och markfuktighet. Det gav en funktion för hur lång tid brytningen av en stubbe tar beroende på dessa olika faktorer.

Tidsåtgångens fördelning över de olika momenten jämfördes både för de olika trädslagen, diameterklasserna och markfuktigheterna.

2.3 Markberedning

Efter skörden, men innan skotningen utvärderades markberedningen. Detta utfördes med det markberedningsformulär som Holmen använder för uppföljning av markberedning. Där räknas antalet optimala och godkända punkter i provytor med en radie på 5,64 meter. Definitionerna av de olika markberedningsställena kommer från Holmen Skogs återväxthandledning (Normark & Bergqvist 2001). Alla markberedningsställen skall vara minst 20*20 cm för att ge snytbaggeskydd och minska risken för konkurrerande vegetation.

Optimala markberedningsställen:

- Mineraljord på omvänd torva där mineraljorden är grundare än tio cm.

- Mineraljord på fräshög där mineraljorden är grundare än tio cm.

Bra markberedningsställen:
- Mineraljord på omvänd torva där mineraljorden är djupare än tio cm.
- Omvänd torva utan mineraljord
- Blekjordsfläck på ej finjordsrik mark.
- Humusfläck.
- Fräshög utan mineraljord.

Övriga markberedningsställen:
- Markberedningsställen som är mindre än 20*20 cm.
- Blekjordsfläck på finjordsrik mark.
- Rostjordsfläck.

2.4 Tidsstudie stubbskotare

Tidsstudien av stubbskotningen genomfördes direkt i fält. Personen som genomförde studien åkte med i maskinen, vilket gav små pauser mellan lastning/lossning och körning då föraren vänder runt stolen inne i maskinen för att växla mellan de olika momenten.

Markförhållandena var GYL 3(4)-1-1 för den största delen, viss del med något mer block, men inte så det påverkade nämnvärt. Basvägen var till stor del en lervälling, sedan tidigare körningar.

Föraren hade kört skogsmaskin i 40 år, men stubbar bara någon vecka. Enligt de andra anställda hos företaget verkade dock den här föraren ha en hög produktivitet, han hade hunnit mer än de väntat sig under den tid han jobbat. Han pratade enbart finska vilket försvårade kommunikationen mellan föraren och personen som utförde tidsstudien.

Mätning av hur lång tid varje moment av skotningen tog genomfördes direkt i fält med en Husky Hunter tidsstudiedator. Den utfördes på fyra lass. Maskinen var en Timberjack 1410 B från 2001.

Stubbskotningen började med att maskinen körde från avlägget utan last. Sedan lastade den på stubbar vid flera olika högar på hygget och mellan dem var det körning med last. När sedan maskinen var fullastad körde den tillbaka till avlägget där momentet lossning tog över. Samma momentindelning som i Karlsson (2007) användes (tabell 4).

Tabell 4. Beskrivning av arbetsmoment och momentgränser vid stubbskotning
Table 4. *Description of the different work elements at forwarding of stumps*

Arbetsmoment	Benämning	Momentgräns	Prioritet
Lastning	Last	Börjar då kranen påbörjar en rörelse mot en hög som ska lastas på skotaren. Avslutas då lastningen är avslutad och körning med last vidtar.	1
Lossning	Loss	Börjar då maskinen står stilla och lossning från lasset till avlägg påbörjas. Avslutas då lossningen är avslutad och kranen är tillbaka på lastutrymmet.	1
Körning utan last	Kout	Börjar då maskinen påbörjar en rörelse framåt eller bakåt då last inte finns på lastutrymmet. Avslutas då lastning påbörjas.	2
Körning med last	Kome	Börjar då maskinen påbörjar en rörelse framåt eller bakåt då last finns på lastutrymmet. Avslutas då lastning eller lossning tar vid.	2
Övrig tid	Ovri	Börjar då aktivitet som inte kan föras till någon av ovanstående moment påbörjas. Avslutas då denna aktivitet avslutas och kranen eller maskinen påbörjar någon ny rörelse.	3
Avbrott	Avbr	Börjar då driftstörning inleds och avslutas då driftstörningen är åtgärdad och nästa moment påbörjas.	3

2.5 Ekonomi

Materialet till de ekonomiska beräkningerna var hämtat både från inmätt data i den här studien och från den driftsuppföljning som Holmen Skog själva hade genomfört. En jämförelse gjordes mellan de kostnader för skörden av stubbarna som framkom från studien och från driftsuppföljningen. Gällande kostnaden för stubbskotningen så var den bara hämtad från Holmen Skogs driftsuppföljning.

Kostnadsberäkningen baserades på 775 kr per timme för grävmaskinen och 650 kr per timme för skotaren.

När inget annat anges så hade 100 % av stubbarna skördats.

Vid omvandlingen från den tidsåtgång som mättes i tidsstudien och den arbetsplatstid som användes för de ekonomiska beräkningarna användes ett omräkningstal från tidigare studier av skotare (Kuitto m.fl. 1994). Arbetsplatstimmar = tiden som mättes i tidsstudien/1,45.

Stubbarna var inte inkörda till industri när Holmen Skogs driftsuppföljning gjordes och därför finns det inga uppgifter om uttaget per hektar med i den. En uppskattning gjordes då med utgångspunkt i de inmätta värdena från den här studien. Uttaget uppskattades till 200 MWh/ha

3 Resultat

3.1 Marknadsundersökning

Den teknik som används vid stubbskörd idag är lik den som användes på 1970- och 80-talet. En bandgående grävmaskin med en massa på minst 20 ton används oftast som basmaskin. På den monteras ett speciellt aggregat för stubbskörd samt skyddsplåtar för att klara körningen i terräng utan skador från stubbar och stenar (Karlsson 2007). Det finns flera typer av aggregat som lyfter stubbar ute på marknaden idag.

3.1.1 Pallari

Pallari är den typ som används mest (Karlsson 2007). Pallariaggregatet har ett hydrauliskt klyvstål på insidan av aggregatet och två bryttänder (fig. 6) som används på samma sätt som grävmaskinens vanliga skopa (Jonsson 1985). Det gör att den kan klyva stubbarna med kniven antingen direkt i marken eller senare när stubben redan är upplyft.

Pallari är även det företag som hållit på längst tid med den här typen av aggregat, sedan 70-talet (Mäkimaa pers. medd. 2007). De säljer idag tre olika aggregat, varav ett endast används för att klippa stubbar och annat trämaterial på t.ex. soptippar. De andra två används för att klyva och skörda stubbarna. De nyaste av de två heter KHM 140 och är enkelt att montera vilket gör att grävmaskinen kan användas till andra typer av arbeten också utan att det tar lång tid att byta stubbskördsaggregatet mot t.ex. en skopa för grävning. Det andra, KH 160, är ett traditionellt fastmonterade aggregat som har högre brytkraft och större gap än det nyare och mer flexibla aggregatet.

Personligen tror Mäkimaa att det blir billigare att använda det fastmonterade eftersom det är snabbare vid skörd av stubbar och att det sedan inte kostar så mycket att traila ut en annan mindre och billigare maskin till markberedning och eventuell dikning. Dessutom så kommer skotningen av stubbarna att förstöra en del av markberedningen och han tror inte att det är bra att göra den i samband med skörden av stubbarna.

Tekniken har sedan 1970-talet utvecklats och aggregaten har blivit effektivare och med användning av specialstål så har de även blivit lättare, men med samma styrka. I början gjordes det lätta och klena aggregat till 16 tons basmaskin, men senare utvecklades till de storlekar som används idag. Pallari rekommenderar att en 23 tons grävmaskin används som basmaskin.

I Sverige har Pallari sålt stubbrytare sedan 2004 och totalt har de sålt drygt 20 aggregat. I Finland har försäljningen varit igång ett tag och där ligger snittet på ungefär 16-17 per år. Där märks det att marknaden har börjat bli mättad och att de flesta som är intresserade har redan köpt aggregat till sina maskiner.

Figur 6. Pallaris stubbskördsaggregat KH 160 (Foto Johanssson).
Figure 6. *Pallari stump harvester KH 160.*

3.1.2 Nya aggregat

Till försäljning finns idag bara Pallari aggregat (von Hofsten pers. medd. 2007). Många verkar intresserade av att utveckla nya koncept och en del av problemen med Pallaris aggregat är att de är långsamma, dyra och att de kräver en basmaskin på minst 20 ton. Arbetsmiljön i terränggående grävmaskiner är även ett problem (Lennartsson pers. medd. 2007).

Ett annat finskt aggregat är Alto (fig. 7). Den beskrivs som en jättegrep med fyra armar, varav den ena är längre än de andra (Brantholm pers. medd. 2007). Den delar stubben i marken utan kniv och lyfter sedan de olika delarna. En entreprenör som kört med både Pallari och Alto säger att deras produktivitet höjts sedan de började med Altoaggregatet. Den klarar även de föroreningskrav som ställs utan att skaka materialet lika mycket som med Pallariaggregatet. Basmaskinen är samma 21 tons bandgående grävare som de använt tidigare med Pallariaggregatet KH 160. De problem de stött på är t.ex. att stubben ibland inte går sönder i marken utan att hela följer med upp. De ska därför prova att montera en enklare kniv på aggregatet att använda i de fallen. En annan lösning är att helt enkelt lämna de stubbarna, eftersom det ändå är en så liten del av dem som inte fungerar att klyva i marken.

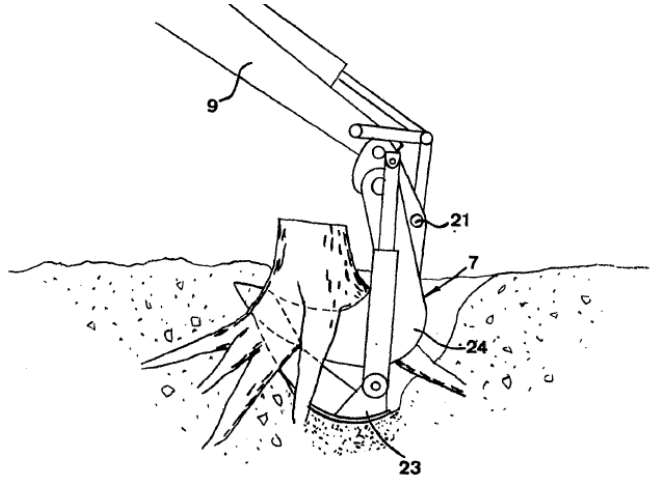
Figur 7. En version av Altogrepen (Foto Nordfjell).
Figure 7. *One version of Alto stump harvester.*

Ett tredje finskt aggregat är Steelpa (fig. 8) som använder sig av samma slags teknik som Pallari (Larsson pers medd. 2008).

Figur 8. Steelpa-aggregatet (Foto Larsson).
Figure 8. *Steelpa stump harvester.*

SWECON har tillsammans med Cederholms utvecklat ett stubbskördsaggregat. Enligt Ulf Ericsson på Stora Enso Bioenergi är principen med det aggregatet detsamma som Pallaris modell, men med möjlighet att vrida på kranen med aggregatet fastmonterat. Det har fungerat rätt bra, men behöver fortfarande modifieras en del samt testas för att se till att det blir mer slitstarkt.

En ny maskin som är under utveckling är SRG Stubbdrivare 160 (Anon 2008b). Den är byggd på ett chassi från en stor 8-hjulig skotare. På den har överdelen från en 16 tons hjulgrävare monterats. Till den går det att använda olika aggregat, på samma sätt som med en bandgrävare, men det aggregat som testas främst nu är ett som kallas Herkules (fig. 9). Det bygger på hävstångsprincipen, med två fasta tänder som sticks in under stubben och en hydraulisk platta som pressas mot maken bakom stubben (von Hofsten 2007). Det ger då en hävkraft som hjälper till att lyfta stubben ur marken. Aggregatet har även en hydraulisk tång för att klippa stubben i mindre delar.



Figur 9. Herkulesaggregatet som använder marken som mothåll för att få tillräckligt lyftmoment för upptagning. Punkt nr 23 i figuren visar en tryckplatta med hydraulkolvar som genererar hävstångskraft mot marken (Hedblom 1979).
Figure 9. *The Herkules stump harvester uses a separate hydraulically driven piston that press a plate (23) towards the ground as a counterweight to lift up the stump (Hedblom 1979).*

3.2 Tidsstudie stubbskörd

Fukthalten i upptagna stubbar varierade från 34,0 % till 43,5 % och var i medeltal 38,5 %. Askhalten var för de fyra högarna: 4,2 %, 17,8 %, 12,6 % och 18,6 %. Medeltalet blev 13,3 %

Beroende på att några stubbar inte kom med i tidsstudien så blev beskrivningen av parcellerna något förändrad i jämförelse med inmätningarna före studien (jämför tabell 5 och tabell 2)

Tabell 5. Beskrivning av de olika parcellerna
Table 5. *Description of the different parcels*

	Parcell				
	1	2	3	4	medel
Areal (ha)	0,19	0,20	0,20	0,36	0,25
Antal tidsstuderade stubbar (st)	94	99	115	92	102
Missade stubbar (st)	6	1	3	2	
Antal tidsstuderade stubbar/ha (st/ha)	487	486	573	256	438
Aritmetisk medelstubbdiameter (cm ± sd)	38,3 ± 10,1	34,1 ± 8,7	35,2 ± 11,0	45,1 ± 12,4	37,9 ± 11,4
Aritmetisk medelstubbhöjd (cm ± sd)	29,4 ±10,9	20,6 ± 8,2	18,9 ± 7,6	28,4 ± 10,8	24,0 ± 10,4

Stubbarnas råa massa för de olika parcellerna var i medeltal mellan 214 – 306 kg/stubbe (tabell 6). Stubbarnas torra massa var i genomsnitt 19 % högre än vad Marklunds (1988) biomassafunktioner gav som värde. I genomsnitt skördades 55 tonTS stubbmassa per ha (tabell 6).

Tabell 6. Utskotade stubbmassor från de olika parcellerna
Table 6*. Mass of the stumps from the different parcels*

	Parcell				
	1	2	3	4	medel
Utskotad stubbmassa (ton)	—*	21,1	24,9	28,2	24,7
Utskotad stubbmassa (ton TS)	—	11,3	13,4	15,1	13,3
Utskotad stubbmassa/ha (ton/ha)	—	103,8	124,2	78,2	102,1
Utskotad stubbmassa/ha (ton TS/ha)	—	55,6	66,6	41,9	54,7
Massa per stubbe (kg)	—	213,5	216,7	306,1	245,4
Massa per stubbe (kg TS)	—	113,8	115,4	163,1	130,8
Massa per stubbe enligt biomassafunktion[1] (kg)	110,4	84,9	95,3	161,3	113,8
Massa enligt biomassafunktion (ton TS)	10,4	8,4	11,0	14,8	11,4
Massa enligt biomassafunktion (ton TS/ha)	53,8	41,3	54,6	41,2	45,7
Utbyte TS (Marklund=100%)	—	135	122	102	119

—* Saknade data. *Missing values*.
[1] (Marklund 1988)

I genomsnitt skördades 32 stubbar/G_0-tim, vilket motsvarade 4,12 tonTS/G_0-tim. Tidsåtgången för skörd blev i genomsnitt 13,3 G_0-tim/ha (tabell 7).

Tabell 7. Produktivitet på de olika parcellerna
Table 7. *Productivity on the different parcels*

	Parcell				
Produktivitet eller tidsåtgång	1	2	3	4	medel
(Stubbar/G0-tim)	31,9	35,1	35,1	26,0	32,1
(Råton/G0-tim)	—*	7,5	7,6	8,0	7,7
(Ton TS/G0-tim)	—	4,0	4,1	4,3	4,1
(G0-tim/ha)	15,3	13,8	16,4	9,8	13,3

—* Saknade data. *Missing values*.

Tidsåtgången för skörd kunde indelas i arbetsmoment direkt kopplade till den enskilda stubben och arbetsmoment som var gemensamma för flera stubbar. Till de senare räknas körning, vilket i medeltal tog 7,8 s/stubbe, igenläggning av hål, vilket tog 7,3 s/stubbe och övrigt vilket tog 6,6 s/stubbe. Tillsammans gav det en tidskonstant på 21,7 s/stubbe. För de arbetsmoment som kunde kopplas till en specifik stubbe (upplyftning, rensning och kranarbete) konstaterades ett starkt samband mellan tidsåtgång och stubbens storlek (tabell 8).

Tabell 8. Regressionsfunktion över en stubbes upparbetningstid (upplyftning, rensning och kranarbete) på frisk och fuktig mark
Table 8. *Regression analysis for the time for processing a stump (lifting, cleaning and crane movements) on fresh and moist soil*

Totaltid (s) = $1{,}08730 \times e^{(0{,}000381 \times D2 + 0{,}0647 \times D + 2{,}62 \times Övrigt + 3{,}23 \times Asp + 2{,}63 \times Gran + 2{,}89 \times Tall - 0{,}270 \times Frisk)}$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Noconstant				
D2	-0,0003805	0,0001227	-3,10	0,002
Övrigt	2,6214	0,2152	12,18	0,000
Asp	3,2333	0,2447	13,22	0,000
Gran	2,6320	0,2005	13,13	0,000
Tall	2,8870	0,2082	13,87	0,000
Frisk	-0,26957	0,07602	-3,55	0,000
D	0,064744	0,009813	6,60	0,000

S = 0,425013

Analysis of Variance

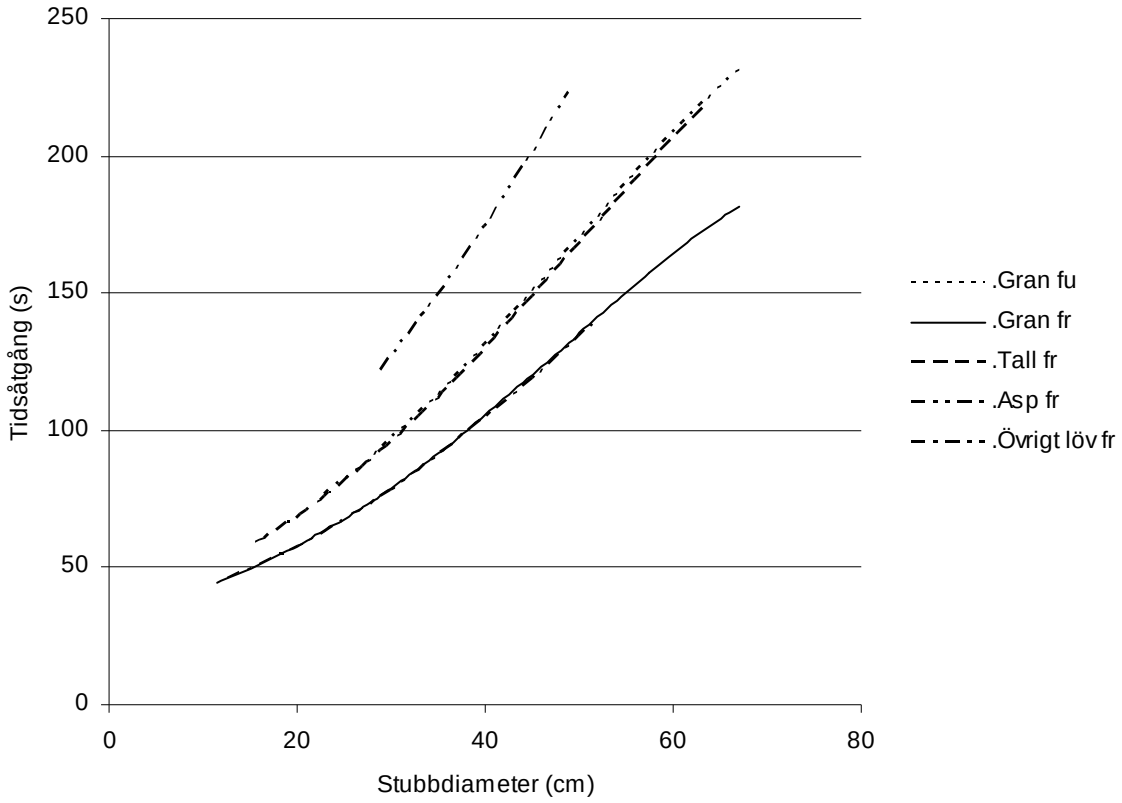
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	7	7614,7	1087,8	6022,16	0,000
Residual Error	393	71,0	0,2		
Total	400	7685,7			

Korrektionsvariabel för logaritmiskt bias: 1,08730

D = Stubbens diameter i centimeter
D2 = Kvadraten på stubbens diameter
Frisk = Indikatorvariabel som antar värdet 1 om markfuktighet är frisk, om fuktig mark 0
Tall = Indikatorvariabel som antar värdet 1 om det är tall, annars 0
Gran = Indikatorvariabel som antar värdet 1 om det är gran, annars 0
Asp = Indikatorvariabel som antar värdet 1 om det är asp, annars 0
Övrigt = Indikatorvariabel som antar värdet 1 om det är övrigt löv, annars 0
S = Medelfel
T = Testvariabel (Koefficienten/medelfelet)
P = Sannolikhet att koefficienten är 0
DF = Frihetsgrader, hur många mätvärden som ingår i materialet
SS = Kvadratsumma

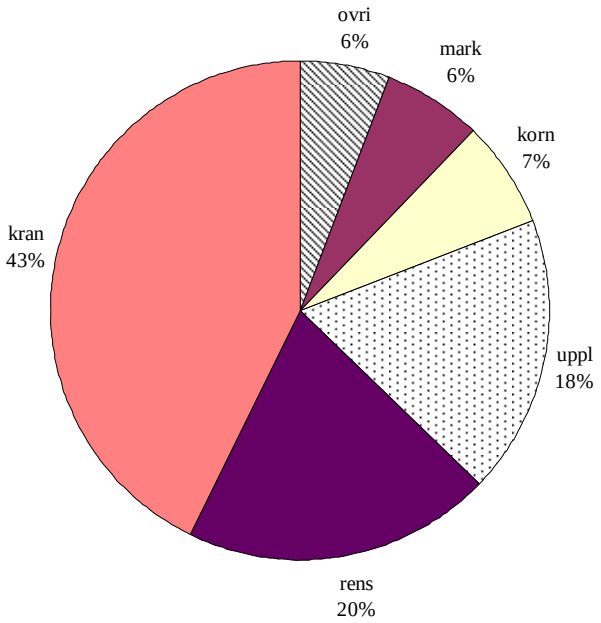
Sammantaget var den totala tidsåtgången för stubbskörd ungefär dubbelt så stor för en stubbe med 50 cm diameter jämfört med en på 25 cm diameter (figur 10). Kortast tid tog det med granstubbar och stubbar av övrigt löv på frisk mark. Tiden var här ca 105 s/stubbe vid 40 cm

stubbdiameter. Motsvarande värden för granstubbar på fuktig mark och tallstubbar på frisk mark var ca 130 s/stubbe. Längst tid (ca 170 s/stubbe) tog det med aspstubbar på frisk mark (figur 10).



Figur 10. Total tidsåtgång för stubbskörd (upplyftning, rensning, kranrörelser, igenläggning av hål, körning och övrigt) som funktion av stubbdiameter. Kurvorna för tall på frisk mark och gran på fuktig mark följer varandra liksom kurvorna för gran på frisk mark och övrigt löv på frisk mark.
fu = fuktig mark, fr = frisk mark.
Figure 10. *Time consumption for stump harvesting (lifting, cleaning, crane movements, filling of holes, driving and other). The lines for pine on fresh soil and spruce on damp soil are alike. The lines for spruce on fresh soil and other deciduous trees on fresh soil are also alike. fu = damp soil, fr = fresh soil.*

I medeltal för hela studien var tidsåtgången 113 s/stubbe (tabell 9). Tidsåtgången fördelade sig till 19 % på arbetsmoment som var gemensamma för flera stubbar (körning, igenläggning av hål och övrigt)(figur 11). Kranarbetet tog 43 % av tidsåtgången, och var därmed det totalt dominerande arbetsmomentet. Rensning tog 20 % av tiden och upplyftningen i sig endast 18 % av tiden (figur 11).

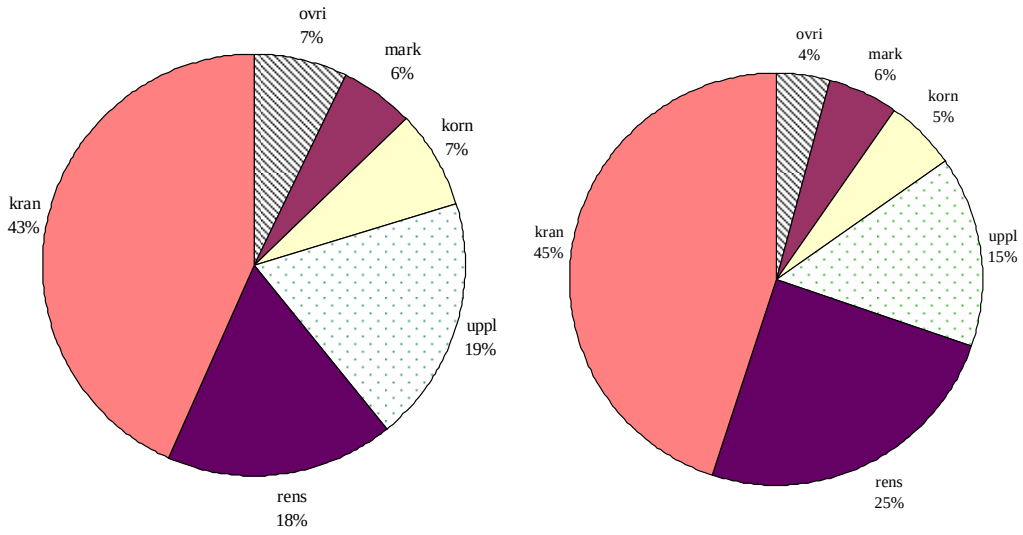


Figur 11. Arbetsmomentens fördelning (%) vid skörd av studiens alla stubbar. Förkortningar se tabell 3.
Figure 11*. The distribution of time for work elements (%) for harvest of stumps on average in the study.*

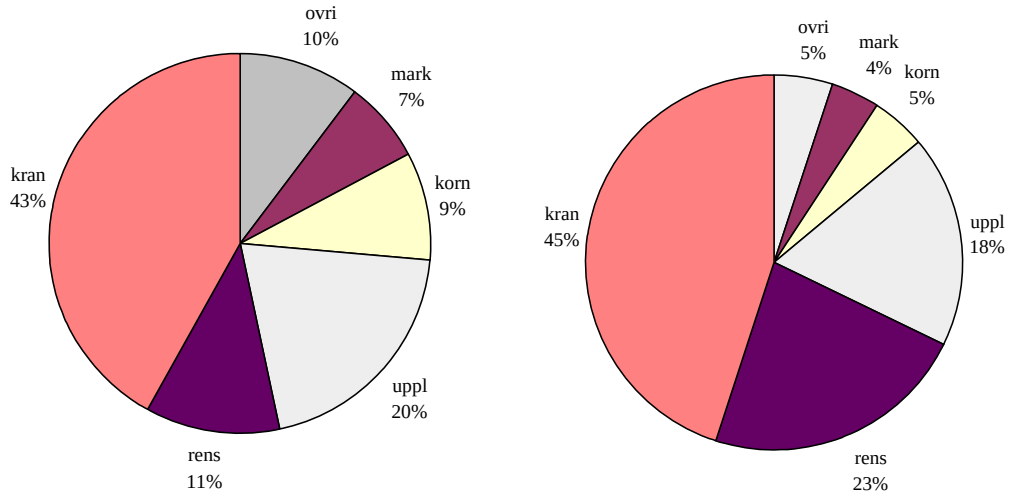
Tabell 9. Tidsåtgång i medeltal vid skörd av studiens alla stubbar (s). Förkortningar se tabell 3
Table 9*. The time consumption on average for harvest of all the stumps in the study (s)*

Arbetsmoment						
övrigt	markbearbetning	körning	upplyftning	rensning	kranarbete	Totaltid
6,6	7,3	7,8	20,5	22,6	48,4	113,2

Vid jämförelse av gran på frisk och fuktig mark respektive små och stora stubbar framkom: andelen kranarbete förhöll sig i stort sett konstant (jämför figur 11, 12 och 13). Andelen upplyftningstid var lägre på fuktig mark (figur 12), och andelen rensningstid var betydligt högre om marken var fuktig eller om stubbarna var stora (figur 12 och 13).



Figur 12. Arbetsmomentens fördelning (%) vid skörd av granstubbar på frisk mark (vänster) och av granstubbar på fuktig mark (höger). Förkortningar se tabell 3.
Figure 12. *The distribution of work elements (%) for harvest of spruce stumps on fresh soil (left) and for harvest of spruce stumps on damp soil (right).*

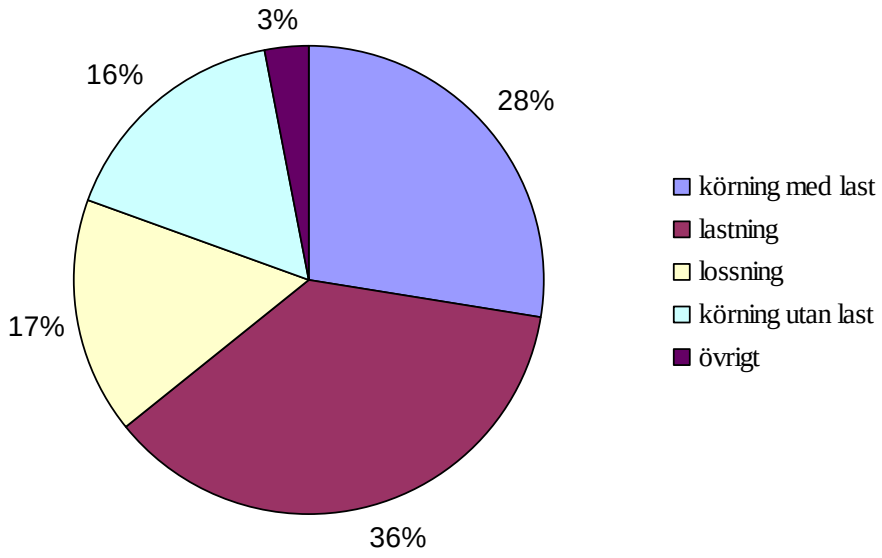


Figur 13. Arbetsmomentens fördelning (%) vid skörd av granstubbar mindre än 29 cm diameter (vänster) och granstubbar större än 46 cm diameter (höger). Förkortningar se tabell 3.
Figure 13. *The distribution of work elements (%) for harvest of spruce stumps smaller than 29 cm diameter (left) and for harvest of spruce stumps larger than 46 cm diameter (right).*

3.3 Tidsstudie stubbskotare

I medeltal tog det 62 minuter att köra ett lass med stubbskotaren vid 700 meter skotningsavstånd enkel väg. Lastning var det arbetsmoment som tog störst andel av tiden (36 %) följt av körning med last som tog 28 % (figur 14). Momentet övrigt innefattade att föraren gick ur maskinen för att skruva åt en läckande kran, tillredning av väg och smålastning längs vägen av tidigare tappade stubbdelar.

Tyvärr saknades såväl vikt som volymuppskattningar av stubbmängd på skotaren. Därför användes inte data från den här studien till de ekonomiska kalkylerna (tabell 11).



Figur 14. Arbetsmomentens fördelning (%) vid stubbskotning.
Figure 14. *The distribution of work elements (%) for forwarding of stumps.*

3.4 Markberedning

I medeltal uppmättes 3675 markberedningspunkter per ha varav 3375 var bra och endast 300 var optimala (tabell 10).

Tabell 10. Antal markberedningspunkter (st/ha) för de olika parcellerna
Table 10*. The number of planting spots of site preparation (no/ha) in the different parcels*

	Parcell				
Markberedningskvalitet	1	2	3	4	Medel
Optimal	200	500	200	300	300
Bra	3500	4100	2700	3200	3375
Totalt	3700	4600	2900	3500	3675

3.5 Ekonomi

Totalkostnaden för stubbdrivning blev liknande, både i den tidsstudie som utförts i denna studie och i den driftsuppföljning som Holmen Skog själva har utfört (tabell 11). Stubbskörden utgjorde ca 70 % av den totala stubbdrivningskostnaden.

Tabell 11. Kostnaden för stubbdrivning där 100 % av stubbarna tas ut
Table 11. *The cost for stump harvest when 100 % of the stumps are removed*

	Arbetsplatstimmar enligt tidsstudien	Driftsuppföljning
Skörd h/ha	19,1	13,2
Skörd SEK/MWh	54	51
Skörd råton/G0-tim	5,3	—
Skörd tonTS/G0-tim	2,8	—
Skörd MWh/G0-tim	14	—
Skotning h/ha	7*	7
Skotning SEK/MWh	23	23
Uttag MWh/ha	278	200
Totalkostnad SEK/MWh	77	74

* Kostnaden för stubbskotning är hämtad från Holmen Skogs driftuppföljning.

I jämförelse med tidigare studier producerades nästan dubbelt så mycket per timme på grund av att stubbarna i medeltal var stora och kostnaden blev då mycket lägre. Karlsson (2007), som hade en medelstubbe på 78 kgTS, hade en beräknad kostnad på ca 88 kr/MWh i medeltal, beräknat på en timkostnad på 650 kr/tim för skotaren och 750 kr/tim för grävmaskinen. Då utfördes även markberedning med grävaren. Produktiviteten var ca 2,2 tonTS/G0-tim i den studien jämfört med 4,2 tonTS/G0-tim i detta arbete.

4 Diskussion

4.1 Material och metoder

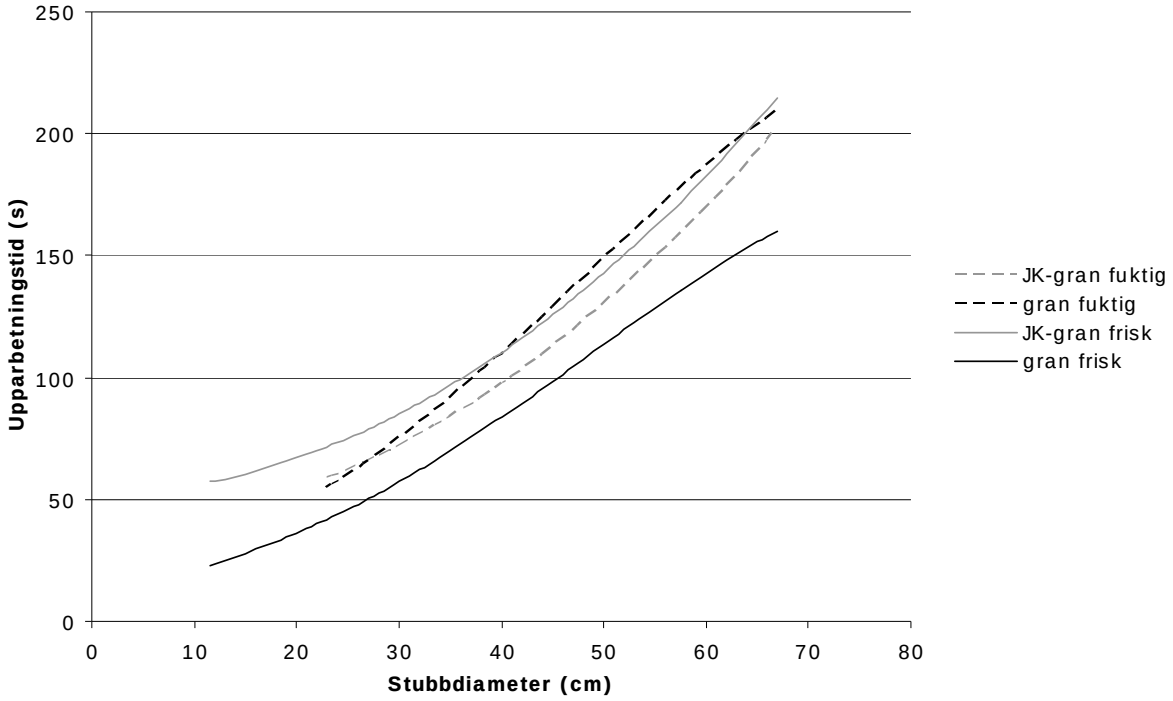
Vid invägningen hade parcell 1 väldigt liten massa utskotade stubbar jämfört med den som beräknats med Marklunds (1988) biomassafunktioner. Det verkar som att en del av stubbarna kan ha lämnats kvar på hygget. Det går med andra ord inte att utesluta att något fel har begåtts. Därför utgick alla data gällande vikter från den parcellen.

Vid tidsstudien av stubbskotaren kunde av praktiska skäl inga vikter eller volymer bestämmas för de lass som skotades ut. Det gör att produktiviteten inte kan räknas fram. De enda resultat som gick att använda därifrån var fördelningen av tiden på olika arbetsmoment.

4.2 Jämförelser med andra studier

Man kan konstatera att tidsåtgången för att lyfta stubbar inte är nämnvärt lägre nu än vid slutet av 1970-talet (jämför resultaten i figur 10 med figur 4 och 5 i inledningen). Den största tekniska skillnad som verkar föreligga är att man numera har bättre möjlighet att lyfta stora stubbar.

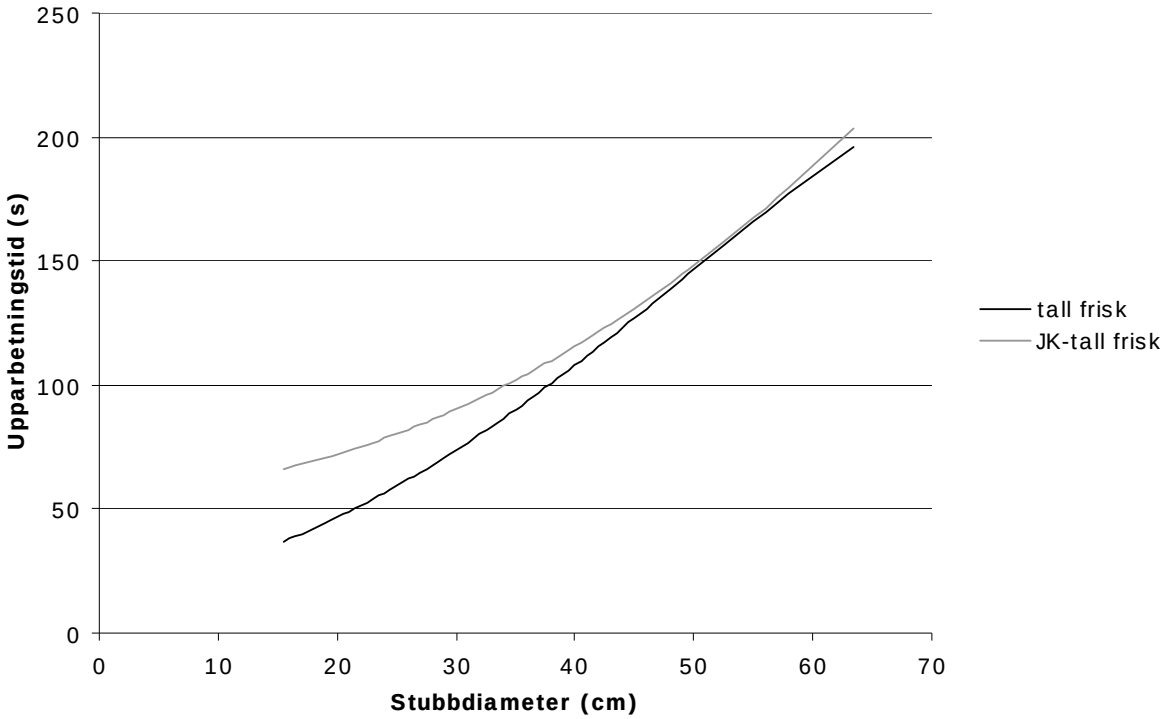
I den här studien gick det snabbare att lyfta stubbar på frisk mark än på fuktig mark. Det verkade som att stubbarna sög fast i underlaget på de fuktiga områdena samt att mer jord följde med stubbarna och därför blev tidsåtgången för rensningen större. Tidigare studier visade dock att det gick snabbare att ta upp stubbarna från fuktig mark (Karlsson 2007) (fig. 15) vilket alltså inte stämmer i det här fallet.



Figur 15. Upparbetningstid (upplyftning, rensning och kranarbete) för granstubbar som en funktion av stubbens diameter. Jämförelse mellan det här arbetet, de mörka linjerna, och Karlsson (2007), de ljusa linjerna.

Figure 15. *Time for processing of spruce stumps as a function of stump diameter. Comparison between this study, the dark lines, and Karlsson (2007), the light lines.*

Upparbetningstiden för tallstubbar var likartad mellan denna studie och Karlssons (2007) för stubbar grövre än 40 cm (figur 16). För små stubbar var tidsåtgången längre i Karlssons (2007) (figur 16).



Figur 16. Upparbetningstid (upplyftning, rensning och kranarbete) för tallstubbar som funktion av stubbens diameter. Jämförelse mellan det här arbetet, den mörka linjen, och Karlssons (2007), den ljusa linjen.
Figure 16*. Time for processing of pine stumps as a function of stump diameter. Comparison between this study, the dark line, and Karlsson's (2007), the light line.*

I studien kördes stubbarna från avlägg till industri inom en vecka, och de hade nog fått lägre fukthalt och askhalt om de fått ligga kvar och torka och utsättas för regn och vind under en längre tid. Enligt finländska erfarenheter är stubbveden bäst efter minst ett års lagring.

Den del av stubbskörden som borde vara enklast att effektivisera är rensningen. Den är omständlig och det är svårt att hantera små stubbdelar med Pallariaggregatet. Vid rensningen sönderdelas stubbarna i mindre delar och då blir det mycket kranarbete för att få dessa till stubbhögarna på hygget. Det är dessutom svårt att ge tydliga instruktioner till förarna om hur mycket jord det får vara kvar på stubbarna och hur mycket tid de får lägga på rensningen. Resultatet kan därför komma att variera en del mellan olika förare. En möjlig utveckling är separat rensning t.ex. i samband med skotning eller vid avlägg med någon typ av maskin som skakar materialet eller på annat sätt kan eliminera sten och jord. Det kan i sin tur gå att kombinera med mobila krossar som sönderdelar materialet vid avlägget så att det kan köras till värmeverken i flisbilar. Det är ingen ny tanke, det finns en del koncept som utvecklades under förra stubbskördsepoken (Jonsson 1985). En del av dem kan utvecklas vidare och kanske bli lönsamma med modern teknik.

Stubbskörd ger en hel del markpåverkan och för att bedriva detta i stor skala så bör en del av stubbarna lämnas kvar i marken. Vilka stubbar det blir och hur många procent som ska lämnas återstår att komma fram till. Det finns flera anledningar till att lämna stubbar i marken, dels av naturhänsyn för att öka mängden död ved i skogen och dels är det inte ekonomiskt lönsamt att ta ut de minsta stubbarna. Dessutom kan man vilja lämna stubbar på basvägar för att minska markskadorna där skotaren ska köra.

Det är viktigt att utbilda förarna om hur naturhänsyn ska tillämpas, speciellt om förarna inte är vana att köra i skogsmark. De kan då inte förstå de hänsynskartor som produktionsledarna lämnar till dem. De är vana att lämna marken prydlig efter sig och det kan lätt sluta med att de ”städar” i skogen.

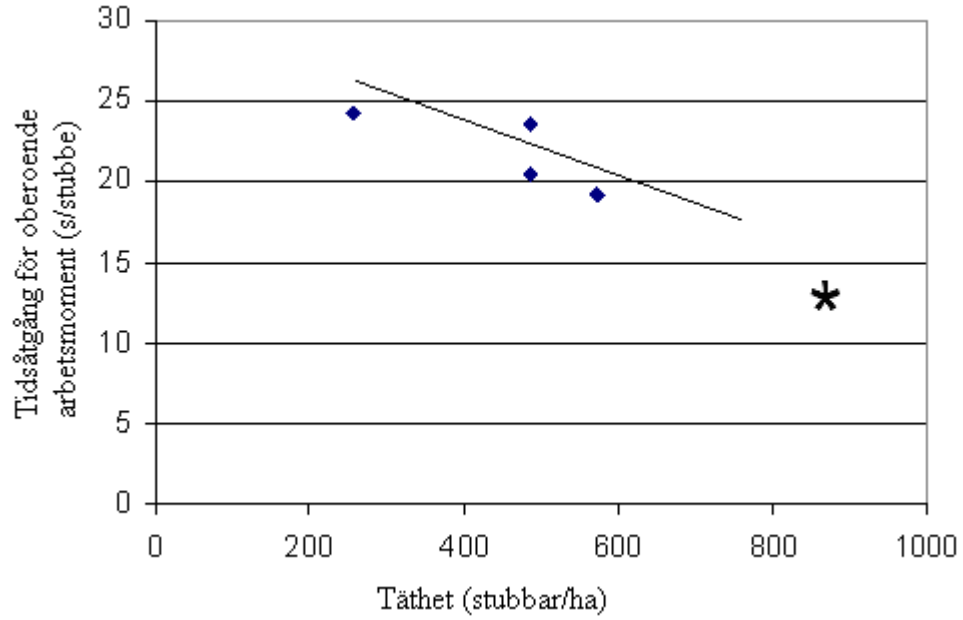
4.2.1 Ekonomi

Den kostnad som räknats fram gäller när alla stubbar tas ut. I kommersiell drift kommer en del av stubbarna på hygget att lämnas kvar som naturvård och kanske även för att stabilisera marken på körvägarna på hygget. Det utfördes inte heller någon markberedning i form av högläggning med grävmaskinen som skördade stubbarna under den här studien. Det kommer att ta tid att utföra den och då stiger kostnaden ytterligare för grävmaskinens arbete. Delar av det kan sedan kvittas mot att extra markberedning inte behöver utföras, men om det blir någon direkt vinst och hur stor den då blir behöver studeras ytterligare. Hur mycket markberedning som ska göras beror på vilket resultat markägaren vill ha. Antalet markberedningspunkter blir stort bara av stubbskörden, men kvalitén på dem och dess fördelning övar arealen varierar.

4.2.2 Känslighetsanalys uttagsprocent

Tidsåtgången per stubbe förändras något om en viss andel av stubbarna lämnas i marken. Det är främst tiden för de stubboberoende momenten som körning, markbearbetning och övrigt som påverkas. Färre antal stubbar tas upp vid varje plats grävmaskinen står på och tiden för körning ökar därmed. En jämförelse mellan tidsåtgången för de oberoende momenten med stubbantalet per hektar ger en indikation för hur den tiden varierar (figur 17). Data från denna studie samt ett medeltal för ytorna i Karlsson (2007) med ytstruktur och lutning i gynnsammaste klassen (Berg 1985) har använts för att beräkna hur tidsåtgången förändras när antalet stubbar per hektar varierar. I Karlssons (2007) data ingick även markberedning.

Dessa resultat (figur 17) användes sedan för att göra beräkningar för hur kostnaderna förändras när uttaget sjunker med 10 % och med 20 % (tabell 12). För att få fram hur kostnaden för stubbskotningen förändras varierades uttaget per hektar i Holmens driftsuppföljningskalkyl.



Figur 17. Tidsåtgång för arbetsmomenten körning, igenläggning av hål och övrigt vid olika stubbantal per ha. Stjärnan är data från Karlsson (2007).
Figure 17. *Time consumption for the working elements driving, filling of holes and others at different numbers of stumps per ha. The star is data from Karlsson (2007).*

Tabell 12. Kostnaden vid olika uttagsprocent
Table 12*. The cost when different percent of the stumps are removed*

	Tidsstudie 100%*	Tidsstudie 90%*	Tidsstudie 80%*
Brytning SEK/MWh	37	39	40
Skotning SEK/MWh	23	25	28
Totalkostnad SEK/MWh	60	64	68

*uttagsprocent

Kostnaden ökar med 8 % om man lämnar 10 % av stubbarna i marken. Lämnas 20 % blir totalkostnaden 13 % högre (tabell 12).

Skillnaden i tid för körning och de övriga oberoende faktorerna förändras väldigt lite beroende på hur många stubbar per hektar som tas ut. Det är för stubbar med en diameter på ca 40 cm bara 5 % skillnad i tid om stubbtätheten minskas till hälften. De moment som tar mycket tid är upplyftning, rensning och kranarbete.

Referenser

Litteratur

Alakangas, E 2005. Properties of wood fuel used in Finland. Technical Research Center of Finland, VTT Processes. Jyväskylä. Project report PRO2/P2030/05.

Anon. 1977. Drivning och vidaretransport vid helträdsutnyttjande. Slutrapport från projektgrupp drivning Projekt helträdsutnyttjande. Skogsindustriernas Samarbetsutskott, Stockholm.

Anon. 2006. På väg mot ett oljefritt Sverige. Kommissionen mot oljeberoende. http://www.regeringen.se/content/1/c6/06/62/80/bf5c673c.pdf
Besökt 2007-05-24

Anon. 2007a. Energiläget 2007. Energimyndigheten. ET 2007:49

Anon. 2007b. Jord- och Skogsbruksministeriet i Finland. Hemsida http://www.mmm.fi/sv/index/Naturresurssektor/nyheter/070124_luonnonhoito.html Besökt 2007-12-06

Anon. 2007c. Kraftig ökning av efterfrågan på biobränsle från skogen (Pressmeddelande 2007-11-29) Skogsindustrierna.

Anon. 2008a. EU-Kommissionens klimatmål. Regeringen.
http://www.regeringen.se/sb/d/8857
Besökt 2008-02-11

Anon. 2008b. SRG 160 Stubbdrivare. PDF-specifikation.
http://www.srg.nu/Website/Upload/633268524973243750/srg_160_stump_sv_e_book.pdf
Besökt 2008-03-06

Berg, S. 1985. Forskningsstiftelsen skogsarbetens terrängtypschema. SFM Specialnotiser nr 30. Stockholm.

Egnell, G., Hyvönen, R., Högbom, L., Johansson, T., Lundmark, T., Olsson, B,. Ring, E. & von Sydow, F. 2007. Miljökonsekvenser av stubbskörd – en sammanställning av kunskap och kunskapsbehov. Energimyndigheten. Eskilstuna. Rapport ER 2007:40.

Hedblom, S. 1979. Patent 7905418-5. Söderhamn. Ansökningsdatum 1979-06-20.

Johansson, B. (red) 2007. Bioenergi – till vad och hur mycket? Formas Fokuserar 11. Stockholm.

Jonsson, Y. 1985. Teknik för tillvaratagande av stubbved. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Stockholm. Redogörelse nr 3.

Karlsson, J. 2007. Produktivitet vid stubblyftning. Examensarbete D 20 p.
SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning. Umeå. Arbetsrapport 168.

Kuitto, P.-J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. 1994. Mechanized cutting and forest haulage. Tiedotus Metsäteho. Helsingfors. Report 410.

Marklund, L-G. 1988. Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige. Sveriges Lantbruksuniversitet, Instutionen för Skogstaxering. Umeå. Rapport 45.

Normark, E & Bergqvist, G. 2001. Återväxthandledning. Holmen Skog Information. Eskilstuna.

Nylinder, M. 1977. Upptagning av stubb och rotved. Forskningsstiftelsen Skogsarbete. Kista. Redogörelse nr 5.

von Hofsten, H. 2007. Stubbar kan ge 5-10 TWh. Skogforsk. Uppsala.
Nytt från skogforsk nr 4.

Personlig kommunikation

Brantholm, L-E. 2007. Storjola MB AB
Box 70, 917 04 Borgafjäll

Ericsson, U. 2008. Stora Enso Bioenergi AB. Grotkoordinator.
Box 1925, 581 18 Linköping.

Larsson, A. 2008. Sveaskog. Skoglig assistent.
Skolgatan 16 A, 923 31 Storuman

Lennartsson, C. 2007. Fiberpack. Maskinutvecklare.
Espetuna Skog AB, 340 30 Vislanda

Lindberg, D. 2008. Student vid jägmästarprogrammet SLU.
Examensarbete om transport av stubbdelar

Mäkimaa, J. 2007. Wasa fältsservice. Återförsäljare av Pallari i Sverige.
Söderbydal 11, 186 94 Vallentuna.

Norin, T. 2007. E:ON Värme Sverige AB.
Energigatan 5, 601 71 Norrköping

von Hofsten, H. 2007. Skogforsk. Försökstekniker.
Uppsala Science park, 751 83 Uppsala