



Grovkrossning av stubbar – en produktivetsstudie

Stump shredding - A study in productivity

Mattias Bertilsson

Arbetsrapport 335 2011
Examensarbete 30 hp 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-335-SE

Grovkrossning av stubbar – en produktivetsstudie

Stump shredding - A study in productivity

Mattias Bertilsson

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

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skoglig resurshushållning
Utgivningsort: Umeå
Utgivningsår: 2011

ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR-335-SE

Förord

Detta arbete har genomförts som ett examensarbete på Jägmästarprogrammet vid Sveriges lantbruksuniversitet. Arbetet omfattar 30 högskolepoäng.

Ett stort tack till min handledare Dimitris Athanassiadis som har hjälpt mig under arbetets gång. Jag har även varit i kontakt med ett flertal personer som har hjälpt mig med mycket värdefull information under detta arbete.

Utan inbördes ordning tack till:

Mats Nilsson och Olle Karlsson, OP Maskin
Personalen på Norrlands jord & Miljö AB, Pär Johansson samt maskinförare
Henrik von Hofsten, Skogsforsk
Personal på Dåva värmekraftverk

Mattias Bertilsson

Umeå, Juni 2011

Sammanfattning

Sverige ska enligt Riksdagens förslag från regeringen öka andelen förnyelsebar energi till 50% av den totala energianvändningen fram till år 2020. En väg till ökad biobränsleanvändning kan vara att öka användningen av stubbar som biobränsle. Stubbskörden skulle gå att genomföra på 5-10% av den totala slutavverkningsarealen och därmed bidra med 1,3-2,6 TWh per år. En grävmaskin används för att bryta loss stubbarna och sedan klippa upp dem i mindre beståndsdelar. Stubbarna lagras sedan för att föroreningar ska lossna samt stubbveden torka. Grovkrossning av stubbar sker i allt större grad för att öka lastvikterna på lastbilstransporter och därmed öka de lönsamma transportavstånden. Målet med detta examensarbete var att undersöka produktivitet vid krossning med Doppstadt 3060 W samt att genomföra en marknadsöversikt över stubbkrossar på marknaden.

För att beräkna produktivitet på krossen filmades krossens arbetsgång, därefter gjordes en direkt, kontinuerlig tidsmätning med kontinuitetsmetoden. Krossat material uppmättes på värmekraftverk. Marknadsöversikten genomfördes genom metodisk strukturering av tillgänglig information.

Produktivitet hos grovkross Doppstadt 3060 W uppgick till 19,25 tonTs/G₀h. Krossmaskinerna i marknadsöversikten har delats in i grov- och finkrossar och dessa har sedan delats in i mobila, semimobila och stationära krossar.

Nyckelord: Stubbar, stubbkrossning, krossmaskiner, tidsstudie, fabrikat

Abstract

The Swedish parliament has decided that Sweden should increase its usage of renewable fuel sources to a level of 50% of the total energy consumption in Sweden by the year 2020. One way to reach that goal may be to increase the usage of stumps as a bio-fuel. In Sweden stump harvesting is possible on about 5-10% of the total harvested area and thus contribute with 1,3 - 2,6 TWh per year. An increase stump harvest doesn't come without its drawbacks for the environment. When harvesting stumps a tracked excavator is used to pry the stumps from the ground and then cut the stumps into smaller pieces. Storing stumps makes for cleaner and dryer stump wood. Shredding of stumps is increasingly used to get higher payloads on the trucks used to haul the stumps and thus increasing the economically feasible transport distances. The goal of this master thesis was to examine the productivity of a Doppstadt 3060 W and to perform a market research regarding shredders and grinders.

To calculate productivity of the shredder, the machine was filmed during work. After that a direct continuous time study was carried out. The crushed parts of the stumps was measured at the heating plant. The market research was carried out by methodic structuring of available information.

The productivity of the shredder Doppstadt 3060 W amounted to a mean value of 19,25ton/E₀h. The machines of the market research was divided into shredders and grinders and in sub categories; mobile, semi-mobile and stationary.

Keywords: Stumps, Stump crushing, shredders, time study, machine brand

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	6
1.1	Bakgrund	6
1.2	Stubbrytning översikt	6
1.3	Transporter och stubbkrossning	7
1.4	Om Tidsstudier	7
1.5	Värdföretaget vid produktivitsstudien	8
1.6	Mål.....	8
2	Material och metod.....	9
2.1	Produktivitsstudie	9
2.1.1	Allmänt fältstudien	9
2.1.2	Mätning och beskrivning av okrossat material.....	10
2.1.3	Tidsstudie samt arbetsmoment	10
2.1.4	Fukthaltsprovtagning	10
2.2	Marknadsöversikt för krossning av stubbar	11
3	Resultat	13
3.1	Produktivitsstudie av krossmaskin Doppstadt 3060 W samt kranbil	13
3.1.1	Mätning och beskrivning av okrossat material samt tidsstudie.....	13
3.1.2	Fukthaltsmätning och produktivitet.....	14
3.2	Marknadsöversikt stubbkrossningsmaskiner	14
3.2.1	Olika principer för krossning.....	14
3.2.2	Marknadsöversikt krossar.....	17
4	Diskussion	23
4.1	Metodkritik	23
4.2	Resultat	23
4.3	Marknadsöversikt	24
4.4	Behov av vidare studier	24
	Referenser.....	25

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Sverige ska enligt Riksdagens förslag från regeringen öka andelen förnyelsebar energi till 50 % av den totala energianvändningen fram till år 2020. Dessutom bör Sverige år 2030 ha en fordonsflotta som är oberoende av fossila bränslen (Regeringskansliet, 2010). Det är ett ambitiöst mål och för att nå målet krävs olika delmål varav ett är att uppvärmningen av bostäder och lokaler i princip skall ske helt utan olja. För att detta ska gå att genomföra krävs att nya alternativa energikällor utvecklas, men även att befintliga energikällor används så effektivt som möjligt. Ett steg mot att hitta nya energikällor kan vara en ökad användning av stubbar som biobränsle och en effektivisering av hanteringen av biobränslen.

Biobränslen är alla bränslen som kommer från växtriket. Användningen av stubbar som biobränsle är inget nytt, förr i tiden användes stubbar t.ex. till tjärbränning (Kardell, 2004). Stubbar är dock en tämligen outnyttjad energikälla i Sverige idag. Stubbskörd sker idag på mindre än 5 % av den årliga slutavverkningsarealen (Von Hofsten, 2010). Ur ett rent energiperspektiv skulle stubbskörd i Sverige gå att genomföra på ca 5-10% av den årliga slutavverkningsarealen och därmed kunna bidra med 1,3-2,6 TWh per år (Jirjis & Anerud, 2009). Därmed finns alltså en hög potential för att effektivisera stubbskördens verksamhet.

Ett ökat uttag av stubbar från våra skogar är naturligtvis inte fritt från problem. Relevanta miljöfrågor i samband med stubbskörd är t.ex. hur mark och markvegetation, biologisk mångfald, kolbalans och mark- och ytvatten påverkas (Egnell, 2008). Ytterligare ett problemområde är den sociala faktorn, d.v.s. vad allmänheten tycker är ett rimligt utnyttjande av skogen. En intressant positiv miljöeffekt av stubbrytning är att rotrötedrabbade områden kan prioriteras framför friska områden. På så sätt minskas risken för rotröta i kommande bestånd (Vasaitis, 2010).

1.2 Stubbrytning översikt

Idag skördas stubbar med i princip oförändrad teknik sedan 1970-talet. En bandgående grävmaskin används som basmaskin. Tre olika skördeaggregat, klippande, fräsande och och grepar förekommer, varav det klippande är det mest använda. Grävmaskinen bryter med ett aggregat loss stubbarna och klipper sedan sönder dem i mindre delar, ofta två till fyra stycken. Därefter placeras de klippta stubbarna i högar eller strängar på hygget där en del av jord och sand lossnar. Stubbarna ligger vanligen tre till åtta veckor på hygget för att torka, sedan skotas de till avlägg (Hällestrand & Tolblad, 2010).

Skörd av stubbar sker normalt under barmarksäsongen. Men efterfrågan uppkommer normalt sett under kallare årstider då energibehovet i samhället är större. Detta gör att stubbarna ofta lagras under längre perioder (Anerud, 2010). Lagring gör att stubbarna blir renare och torrare vilket medför att de blir ett mer kvalitativt biobränsle med högre energivärde och lägre askhalter. Nyskördade stubbar har en fukthalt på ca 40-50% men fukthalten kan minskas till 25-30% redan vid endast tre månaders lagring. Efter ca ett års lagring är fukthalten nere på 20% i klippta stubbar.

Efter denna lagringstid ger inte en ytterligare lagringstid någon större effekt, däremot är stubbarna mottagliga för fukthaltsändringar under lagringstiden (Jirjis & Anerud 2009). Vidare minskar föroreningsgraden av stubbarna vid lagring på grund av att föroreningar torkar och faller av samt blir bortsköljda av regn. Detta ger en positiv effekt på askhalten då stubbarna eldas vid värmeverk.

Efter ca 13 månaders lagring minskar askhalten endast marginellt varför vidare lagring inte ger någon större positiv effekt. Viktigt att påpeka här är att en brytningsteknik som ger renare stubbar skulle minska lagringstiden avsevärt (Jirjis & Anerud, 2009). Generellt kan sägas att gran innehåller mindre föroreningar i rotsystemet än tall på grund av dess ytligare egenskaper (Nylinder, 1977). Vidare beror föroreningsgraden på jordens egenskaper, årstid och väder. En grovkornig jord som är torr medför mindre föroreningar i stubbarna än en finkornig fuktig jord (Nylinder, 1977).

1.3 Transporter och stubbkrossning

Idag transporteras huvuddelen av stubbråvaran i form av mer eller mindre delade stubbar med lastbil till terminal eller värmeverk. Vissa större värmeverk har egna kross - anläggningar för skogsbränsle såsom stubbar och GROT.

Problemet med transport av okrossade stubbar är de låga lastvikter som uppnås på grund av den skrymmande stubblasten. Därmed blir de lönsamma transportavstånden korta (von Hofsten, 2010). De egenskaper som eftersträvas hos en kross för stubbkrossning på avlägg eller terminal är att den bör vara lätt att flytta, helst monterad på släp eller trailer bakom en lastbil. En kross med hjul är därför önskvärd om en kross som går lätt att flytta behövs. En trumsiktsutrustning används då det krossade materialet är starkt förorenat. Detta sänker därmed askhalten vid förbränning (von Hofsten, 2010). Idag används ofta universalkrossar för krossning av stubbar, d.v.s. krossar som inte är specialiserade på just stubbkrossning. Detta gör att det är svårt att få ett helhetsgrepp på vilka krossar som är lämpliga för stubbkrossning. En marknadsöversikt är önskvärd för att bereda möjlighet för systemanalyser och vidare studier.

Produktivitet vid grovkrossning är en variabel som är i stort sett okänd. Därav finns det stort värde i att undersöka denna siffra för att på sikt kunna optimera logistiken vid stubbtransporter. Vidare saknas kunskap om vilka faktorer som är avgörande för produktiviteten vid grovkrossning. Ett problem vid presentation av data för krossmaskiner är att krossens produktivitet påverkas i hög grad av de andra maskinerna i systemet t.ex. lastmaskinen.

1.4 Om Tidsstudier

För att ta reda på produktivitet för ett system krävs att någon form av arbetsstudier genomförs. En form av arbetsstudie är tidsstudien. En tidsstudie kan genomföras på två sätt. Antingen genom jämförande studier eller genom sambandsstudier. Jämförande studier har till syfte att jämföra olika system medan sambandsstudier syftar till att undersöka sambandet mellan prestation och olika påverkande faktorer (Bergstrand, 1987). Olika årstider, varierande terräng och en i hög grad varierande miljö gör att tidsstudier i skogsmiljö blir mer komplicerat än i t.ex. industriell miljö. Detta kallas för ”brus” och kan medföra ett felaktigt resultat. Skogligen tidsstudier får ofta ett subjektivt inslag. Studiens kvalitet beror av tidsstudiemannens kompetensnivå (Bergstrand, 1987).

Tidsstudier kan ske som *direkt tidsmätning* eller *frekvenstudier*.

Direkt tidsmätning sker vanligen med speciella tidsstudieur eller tidsstudiedatorer. Mätningen kan ske enligt ”snap back” metoden eller kontinuitetsmetoden.

”Snap back” metoden eller nollställningsmetoden som den också kallas innebär att tidsstudiemannen efter varje enskilt arbetsmoment vrider tillbaks tidsmätaren till nollläget. Kontinuitetsmetoden innebär att vid avslut av varje enskilt arbetsmoment avläser tidsstudiemannen den tid som förflutit sedan klockan startades. Tidsstudier sker ofta i enheten centiminuter, d.v.s. hundraedels minuter. Denna enhet används för att underlätta beräkningar av insamlad data (Björheden, 1989).

Tabell 1. För och nackdelar med de olika tidsstudiemetoderna

Table 1. Pros and cons of different time study methods

”Snap back” metoden	Kontinuitetsmetoden
- Deltidernas variation kan löpande kontrolleras	- Lägre krav på studiemannens skicklighet
- Färre siffror	- Liten risk för avläsningsfel
- Enklare bearbetning	

Frekvensstudier sker genom att man med ett slumpmässigt eller konstant intervall gör observationer av studieobjektet, det arbetsmoment som utförs vid varje intervall noteras. Frekvensstudier används för att bestämma olika arbetsmoments relativa tidsandel (Björheden, 1989).

1.5 Värd företaget vid produktivitetsstudien

Värd företag vid studien är Norrlands jord & Miljö AB. Företaget ägnar sig åt krossning och flisning av returträ, träddelar, ris och bark med mobila anläggningar. Norrlands jord & Miljö AB bedriver verksamhet främst i Norr- och Västerbotten. Under de senaste åren har Norrlands jord & Miljö AB utökat verksamheten med produktion av biobränslen. År 2005 påbörjade företaget krossning och flisning av biobränslen.

1.6 Mål

- Undersöka produktivitet vid grovkrossning av stubbar med kross Doppstadt 3060 W med tillhörande kranbil.
- Presentera en marknadsöversikt över de vanligaste krossarna på den svenska marknaden idag.

2 Material och metod

2.1 Produktivetsstudie

2.1.1 Allmänt fältstudien

Fältstudierna genomfördes mellan 25 oktober 2010 till 7 november 2010. Platsen var Jämtland, Västerbotten (RT90:7108581, 1702786). Maskinen som studerades var en Doppstadt 3060 W (fig. 1).

Krossningsarbetet gick till på följande sätt:

En kranlastbil (fig. 2) försåg krossen med okrossat stubbmaterial. Krossen krossade stubbarna och matade med hjälp av ett transportband ut den grovkrossade produkten i en hög bakom krossen. Krossen var utrustad med Robson drive för framåtdrift och styrdes med fjärrkontroll. Således behövde maskinoperatörerna aldrig lämna sina fordon för att flytta krossen på avlägget



Figur 1. Kross Doppstadt 3060 W

Figure 1. Shredder Doppstadt 3060 W



Figur 2. Kranlastbil Scania med timmerkran

Figure 2. Crane equipped truck

2.1.2 Mätning och beskrivning av okrossat material

Före tidsstudien uppskattades volymen av de okrossade stubbarna. Stubbvältan uppmättes med 25 meters måttband. Bredden (B) mättes vid tre ställen på varje stubbhög, detsamma gäller höjden (H) på högen. Längden (L) mättes mellan ändarna på varje stubbhög. Därefter beräknades ett medelvärde för höjd och bredd. För uträkning av volym användes följande formel: (Lindberg, 2008) $Volym = H \times B \times 2/3 \times L$.

2.1.3 Tidsstudie samt arbetsmoment

För att mäta produktivitet på krossen har en tidsstudie genomförts. Tidsstudien utfördes som en direkt tidsmätning och kontinuitetsmetoden användes. Tidsstudien genomfördes genom att spela in krossningsarbetet med videokamera. Det krossade materialet resulterade i två högar. Det inspelade videomaterialet analyserades sedan i Microsoft Excel med ett tidsstudieprogram från finska METLA. Klockan i programmet startades då uppstart av maskinen skedde vid påbörjat arbetspass. Varje arbetsmoments individuella tidsåtgång noterades (Tabell 2). Tider för flytt, uppstart och underhåll har tagits bort vid jämförande studier mellan upprepningarna för att få jämförbara resultat mellan båda upprepningarna.

Tabell 2. De olika arbetsmomenten vid krosstudien

Table 2. The different work elements of the shredder study

Namn på moment	Arbetsmomentbeskrivning
Uppstart	Börjar då maskinen startas vid påbörjat arbetspass och avslutas vid påbörjat arbete med kran.
Kran ut	Kranen rör sig från krossens sida till vältan, påbörjas när moment lossning eller tillrättaläggande upphör och avslutas när moment lastning påbörjas.
Lastning	Börjar då gripnen vidrör stubbvältan och jobbar med lastning, slutar då moment kran in börjar.
Kran in	Kranen rör sig från vältan till krossens sida, påbörjas då moment lastning slutar och avslutas när kranen passerar krossens sida.
Lossning	Börjar då gripnen passerar krossens sida och slutar då moment kran ut eller tillrättaläggning börjar.
Tillrättaläggning	Tiden då kranföraren ordnar och justerar stubbar i krossen.
Väntetid	Kranen står still.
Underhåll	Haveri och lagning av maskin.
Flytt	Börjar då krossen flyttas och kranarbete ej genomförs avslutas vid nytt arbetsmoment.

Det två krossade högarna transporterades efter en månads lagring med lastbil till värmekraftverk. Vid transport skiljdes de två olika högarna från varandra genom transport i separata containrar.

2.1.4 Fukthaltsprovtagning

Invägningen av det krossade materialet skedde genom att lastbilen och släpet vägdes för sig. Därefter vägdes bil och släp tomma, denna vikt subtraherades sedan från de totala vikterna och råvikter för respektive krossad hög räknades fram.

Vid krossningsarbetet togs 20 st slumpmässiga fukthaltsprover av olika fraktionsstorlek som samlades i två påsar, därefter analyserades dessa på Dåva värmekraftverks provtagningsstation (Fig. 3). De stickprov som var för stora för torkugn kapades till trissor för att få plats i torkugnen. Stickprovsbitarna lades sedan i två papperspåsar, en påse för varje provhög. Påsarna med innehåll vägdes på en krönt våg. Därefter placerades proven i ett värmeskåp och torkades i 105 grader celcius i 48 timmar. Sedan vägdes det torra provet. Hänsyn togs till påsens taravikt som i princip är konstant.



Figur 3. Det krossade materialets fraktionsstorlek vid fukthaltsprovtagning, måttstocken är en meter lång. Hög ett till vänster & hög två till höger.

Figure 3. Characteristics of the crushed material when sampling for moisture content, the measuring stick is one meter long. Pile one to the left & pile two to the right.

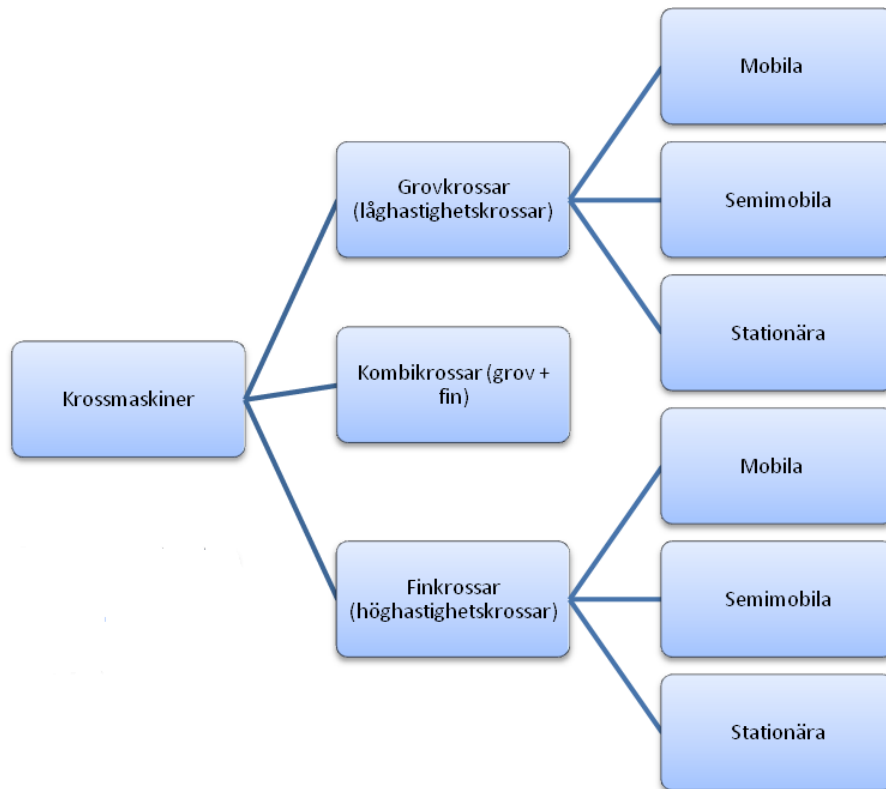
Fukthalten (fh %) beräknades enligt följande: (Lähtikangas, 1998)

$$(fh) = 100 - \frac{\text{torrmasa}}{\text{råmasa}} \times 100$$

2.2 Marknadsöversikt för krossmaskiner

För att klassificera de olika krossarnas fabrikat samt egenskaper har en metodisk strukturering av tillgänglig information genomförts. Informationen har hämtats från informationsblad och respektive tillverkares hemsidor. De olika krossarna har delats in i olika kategorier beroende dess egenskaper.

Vid struktureringen har krossmaskinerna delats in i grov och finkrossar. Därefter har grov och finkrossar delats in i mobila, semi-mobila eller stationära krossar. Till kategorin mobila har krossar som står på ett hjulchassi klassats, alltså krossar som kan flyttas med dragbil utan särskild trailer. Semimobila krossar har definierats som krossar som kan flytta sig av egen kraft under arbete med t.ex. band, men som inte kan flyttas längre sträckor utan särskild trailer. Slutligen innehåller kategorin stationära, krossar som står stilla, fast förankrade och som inte går att flytta utan omfattande demontering. I vissa fall finns ett krossaggregat i alla tre kategorierna. Där handlar det om att själva krossenheten helt enkelt kan anpassas till olika typer av montering, på t.ex. hjul eller bandchassi.



Figur 4. Marknadsöversiktens struktur
Figure 4. The structure of the market research

3 Resultat

3.1 Produktivetsstudie av krossmaskin Doppstadt 3060 W samt kranbil

3.1.1 Mätning och beskrivning av okrossat material samt tidsstudie

Vid uppmätning av stubbvältan innan krossning erhöles nedanstående resultat.

Tabell 3. Stubbhögens mått

Table 3. The dimensions of the stump pile

	H _a	B _a	L _a	Uppskattad Volym
Mått	4 m	5,5 m	17 m	249 m ³

Totalt åtgick 29,15 minuter till krossning av hög ett och 28,38 minuter till krossning av hög två. De två högarna har en viss skillnad i fördelning av tid som åtgår till varje arbetsmoment. Det framgår att störst tidsåtgång vid krossning av båda högarna åtgick till lastning (30% resp. 31%). Den stora skillnaden mellan högarna är dock att vid krossning av hög 2 åtgår dubbelt så mycket tid till tillrättaläggning av krossmaterial i krossen (8% resp. 17%). Antalet krancykler vid studien var 76 vid krossning av hög nummer ett och 64 för krossning av hög två. Tidsåtgång för de individuella arbetsmomenten framgår i Tabell 4 nedan och fördelning mellan de olika arbetsmomenten framgår i Figur 5.

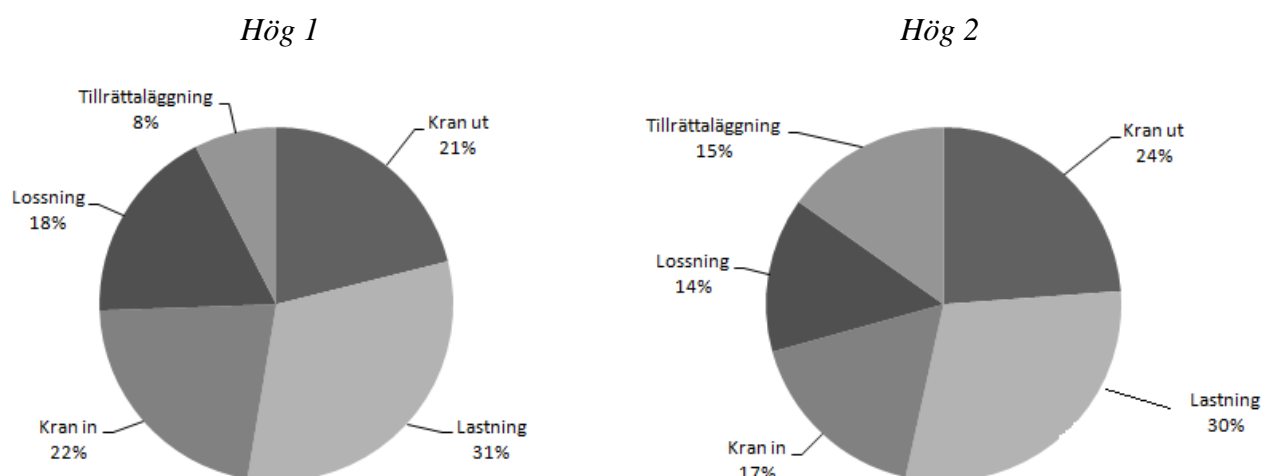
Vid krossning av hög ett uppgick råton/krancykel till 0,17 råton och vid krossning av hög 2 0,18 råton per krancykel.

Tabell 4. Tidsåtgång för olika arbetsmoment i tidsstudien

Table 4. Time consumption for different work elements during the time study

Namn på moment	Hög 1 (sek)	Hög 2 (sek)
Uppstart	37,92	*
Kran in	403,77	290,54
Kran ut	390,50	401,33
Lastning	583,62	499,43
Lossning	333,65	237,68
Tillrättaläggning	139,58	256,18
Väntetid	2,94	17,33
Underhåll	*	*
Flytt	91,08	*

*Momentet genomfördes ej under studerad tid



Figur 5. Diagram utvisande tidsåtgång mellan olika arbetsmoment

Figure 5. Diagram showing the time used in different work elements

3.1.2 Fukthaltsmätning och produktivitet

Hög nummer ett hade en fukthalt på 25,6 % och hög nummer två hade en fukthalt på 27,7%. Totalt krossades 24,7 råton under studien för båda högarna. Det motsvarar totalt 18,1 (tonTS). Produktiviteten för krossen uppgick till 20 tonTS/G₀h under krossning av hög ett och 18,5 tonTS/G₀h under krossning av hög två.

Tabell 5. Samlade produktivitetresultat vid krossningsstudien

Table 5. Gathered results of the shredder study

	Hög 1	Hög 2
Tidsåtgång (G₀h)	0,48	0,46
Fukthalt (%)	25,6	27,7
Krossad massa (råton)	12,9	11,8
Krossad massa (tonTS)	9,6	8,5
Produktivitet (ton/G₀h)	27,1	25,7
Produktivitet (tonTS/G₀h)	20	18,5

3.2 Marknadsöversikt stubbkrossningsmaskiner

3.2.1 Olika principer för krossning

Krossmaskiner kan i stort delas in i två grupper beroende på vilken princip som används vid sönderdelning (krossning) av materialet. Dessa två grupper är låghastighetskrossar och höghastighetskrossar (Johansson, 2010 pers. komm). Krossar drivs oftast av dieselmotorer men kan även drivas av elmotorer, de senare återfinns oftast på stationära krossar. I många andra användningsområden t.ex. krossning av sopor och avfall används höghastighetskrossar men vid stubbkrossning kan de ibland vara ofördelaktiga. Detta beror på att de trycker in föroreningar i stubbveden såsom t.ex. smågrus och sand. Detta i sin tur leder till högre askhalter vid förbränning av bränslet och därmed en lägre bränslekvalitet.

Låghastighetskrossar är försedda med skruvar, eller valsar som med låg hastighet sliter sönder materialet som krossas. Valsen, skruven eller kvarnen drivs oftast av en dieselmotor via en växellåda, valsen roterar i ca. 500 varv/min, generellt kan sägas att för att krossa stubbar är minst en 500 hk motor lämplig. (Von Hofsten, 2010 pers. komm).

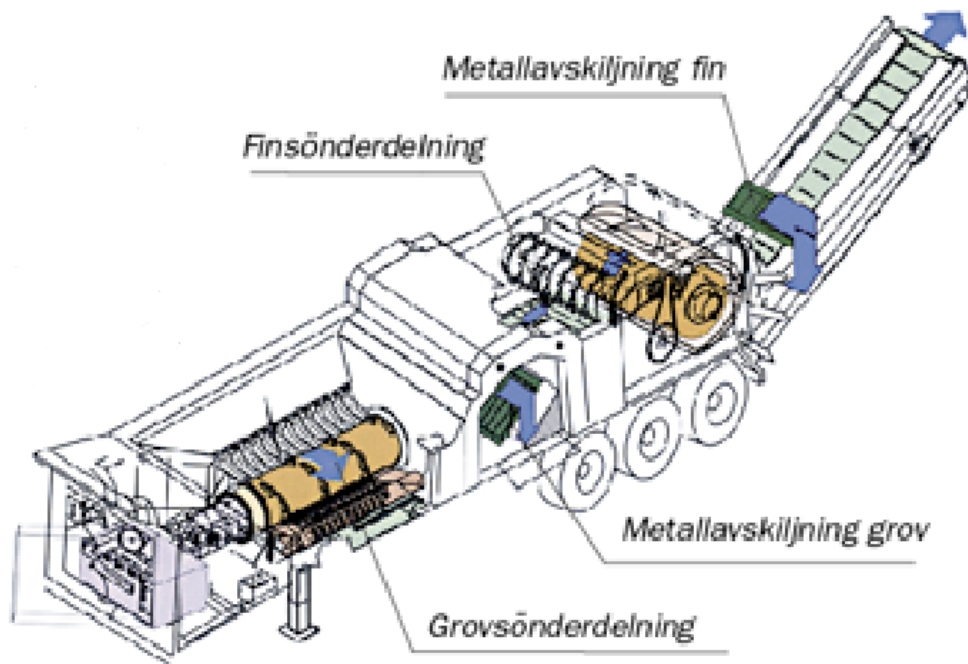
Vid valskrossning roterar valsens tänder genom en "kam" som har motsvarande luckor där valsen har tänder. På så sätt rivs krossmaterialet sönder mellan tänderna på valsen och kammen. Kammen på exempelvis Doppstadt modell 3060 W är hydrauliskt styrd vilket innebär att operatören manuellt kan ställa det tryck vid vilket kammen öppnar för att släppa igenom grovt material som kan skada krossen t.ex. stora stenar (Anon. 2010b). Istället för kam kan två stycken motroterande valsar användas. Vid fallet skruvkross fungerar en sådan genom att åsar på krosskruven sliter sönder materialet. Slutprodukten vid låghastighetskrossning blir av grov karaktär (15 centimeters längd och uppåt) och därav kallas låghastighetskrossning ofta för grovkrossning.

Grovkrossning vid avlägg gör att mycket av föroreningarna lossnar redan ute i skogen. Vid krossning av svårt nedsmutsat material kan även en sikt användas. Det grovkrossade materialet kan sedan finkrossas av en höghastighetskross för att nå önskad dimension för bioenergipannorna (Karlsson, 2010 pers. komm.).



Figur 7. Krossvalsens på en låghastighetskross, här syns tydligt tänder och kammar
Figure 7. The shredder part on a low speed shredder

Den andra huvudprincipen för krossning är höghastighetskrossning, eller finkrossning. Dessa krossar har slagor eller hammare som roterar i ca. 1000 varv/min. Slagorna eller hammarna slår sönder materialet som ska krossas. Slutprodukten från en höghastighetskross liknar mer flis och har en längd på upp till tio centimeter. Maskiner som kombinerar valskross och slag/hammarkross i samma maskin kallas för kombikrossar (Fig 8). I en kombikross krossar en låghastighetskross först materialet till mindre bitar och därefter tar en höghastighetskross vid och finkrossar materialet.



Figur 8. Princip för kombimaskin
Figure 8. Overview of a combi-shredder

3.2.2 Marknadsöversikt krossar

I tabellerna nedan visas en översikt av olika maskiner fördelat på fabrikat, modell samt typ av maskin.

Tabellerna baseras på information från följande källor: *Anon. 2011b - Anon. 2011l.*

Tabell 6. Mobila grovkrossar

Table 6. Mobile pre-shredders

Fabrikat	Modell	Försäljare i Sverige	Motoreffekt (kW)	Vikt (ton)	Längd (m)
<i>Doppstadt</i>	DW 2560	OP Maskin AB	290 Diesel	19	9,3
	DW 3060	- -	315 Diesel	25	9,7
	DW 3060 SA	- -	315 Diesel	30	9,2
<i>Morbark</i>	Predator	OBM tech	245/330 Diesel	19,9	11,5
<i>Hammel</i>	VB 450 D/E	Kiesel Scandinavia AB	100 Diesel,110 El	9	-
	VB 650 D/E	- -	150 Diesel,160 El	15	-
	VB 750 D/E	- -	260 Diesel,260 El	17	-
	VB 850 D/E	- -	350 Diesel, 320 El	25	-
	VB 950 D/E	- -	522 Diesel, 500 El	40	-
<i>TANA</i>	Shark 220D	VB Maskiner AB	403 Diesel	24	10,5
	Shark 440D	- -	403 Diesel	27	10,5
	Shark 220EM*	- -	220 El	26	10,5
	Shark 440EM*	- -	320 El	29	10,5
<i>Komptech</i>	Terminator 3400	Pon Equipment AB	242 Diesel	~20	-
	Terminator 3400S	- -	242 Diesel	~20	-
	Terminator 5000	- -	328 Diesel	~20	-
	Terminator 5000S	- -	328 Diesel	~20	-
	Terminator 6000S	- -	429 Diesel	~20	-
<i>CBI</i>	Annihilator	Allan Bruks AB	460 Diesel, 220/370 El	47	15,5

* Eldrift medför begränsad fältkapacitet

Tabell 7. Semi-mobila grovkrossar
Table 7. Semi-mobile pre-shredders

Fabrikat	Modell	Försäljare i Sverige	Motoreffekt (kW)	Vikt (ton)	Längd (m)
<i>Haas</i>	HDWV-D 700x1500	ReTec Miljö AB	224 Diesel	-	-
	HDWV-D 700x2000	- -	242 Diesel	-	-
	HDWV-D 900x2500	- -	392 Diesel	-	-
<i>TANA</i>	Shark 220DT	VB Maskiner AB	403 Diesel	29	10,5
	Shark 440DT	- -	403 Diesel	32	10,5
<i>Komptech</i>	CRAMBO 3400	Pon Equipment AB	242 Diesel	~20	-
	CRAMBO 5000	- -	328 Diesel	~20	-
	CRAMBO 6000	- -	429 Diesel	~20	-
<i>Hammel</i>	VB 850 DK	Kiesel Scandinavia AB	350 Diesel, 320 El	34	-
<i>Doppstadt</i>	DW 2060K	OP Maskin AB	150 Diesel	18	8,3
	DW 2060	- -	150 Diesel	14,5	6,6
	DW 3060	- -	315 Diesel	28	10,1
	DW 3080 K	- -	350 Diesel	45	11,2

Tabell 8. Stationära grovkrossar
Table 8. Stationary pre-shredders

Fabrikat	Modell	Försäljare i Sverige	Motoreffekt (kW)	Vikt (ton)	Längd (m)
Doppstadt	DW 2060 E	OP Maskin AB	132/160 Diesel	13,2	6,1
	DW 2560 E	- -	210/315 Diesel	20	6,6
	DW 306 E	- -	315/380 Diesel	30	8
	DW 3080 E	- -	315 Diesel	28,5	6,8
	DW 4060 E	- -	380 Diesel	35	8,6
TANA	Shark 220E	VB Maskiner AB	220 EI	15,3	3,3
	Shark 440E	- -	320 EI	16,9	3,3
Komptech	CRAMBO 3400	Pon Equipment AB	320 EI	-	-
	CRAMBO 5000	- -	200 EI	-	-
	CRAMBO 6000	- -	320 EI	-	-
	Terminator 500	Pon Equipment AB	37 EI	-	-
	Terminator 2200	- -	132 EI	-	-
	Terminator 3400	- -	160 EI	-	-
	Terminator 3400S	- -	150 EI	-	-
	Terminator 5000	- -	-	-	-
	Terminator 5000S	- -	220 EI	-	-
	Terminator 6000S	- -	320 EI	-	-
Haas	HDWV-E 700x1500	ReTec Miljö AB	180/220 EI		
	HDWV-E 700x2000	- -	220/264 EI	-	-
	HDWV-E900x2500	- -	320 EI	-	-

Tabell 9. Mobila finkrossar**Table 9. Mobile grinders**

Fabrikat	Modell	Försäljare Sverige	Motoreffekt (kW)	Vikt (ton)	Längd (m)
<i>Doppstadt</i>	AK 235	OP Maskin AB	150 Diesel	15	9,2
	AK 435	- -	315 Diesel	19	9,7
	AK 635	- -	448 Diesel	25	11,2
<i>Morbark</i>	2600 Woodhog	OBM tech	130 - 190 Diesel	12	10,3
	3800 Woodhog	- -	320 - 510 Diesel	25	10,7
	4600 XL Woodhog	- -	590 - 770 Diesel	33,5	12
	6600 Woodhog	- -	630 - 880 Diesel	41	13,4
	7600B Woodhog	- -	630 - 880 Diesel	48	14,3
	HG8000	- -	782 Diesel	-	-
<i>Vermeer</i>	HG200*	S & H Teknik AB	64 Diesel	2,5	6
	HG6000*	- -	470 Diesel	25	13,4
	HG6000E	- -	223 El	26	13
	TG5000	- -	402 Diesel	20	12
	TG7000	- -	745 Diesel	33	13
	TG9000	- -	745 Diesel	43	13
<i>HAAS</i>	HMH-T 650x1600	ReTec Miljö AB	328 Diesel	-	-
<i>CBI</i>	Magnum Force 8400	Allan Bruks AB	770/950 Diesel	40-44	14,8
	Magnum Force 8600	- -	770/950 Diesel	41	14,9
	Magnum Force 9000	- -	770/950 Diesel	-	-
<i>Komptech</i>	AXTOR	Pon Equipment AB	566 Diesel	-	-
<i>Peterson</i>	4400	OBM tech	625 Diesel	-	-

* Finns med kran

Tabell 10. Semimobila finkrossar**Table 10. Semi-mobile grinders**

Fabrikat	Modell	Försäljare i Sverige	Motoreffekt (kW)	Vikt (ton)	Längd (m)
Morbark	2600 Track Woodhog	OBM tech	180 Diesel	14	8,8
	3800 Track Woodhog	- -	320 - 510 Diesel	30	10,7
	4600 XL Track Woodhog	- -	590 - 770 Diesel	39	10,9
	6600 Track Woodhog	- -	630 - 880 Diesel	49	12,8
Vermeer	HG4000TX	S & H Teknik AB	328 Diesel	25	11,7
	HG6000TX	- -	470 Diesel	30	12,5
	HG8000TX	- -	780 Diesel	56	15,4
CBI	Magnum Force 5400	Allan Bruks AB	390/550 Diesel	-	11,5
	Magnum Force 6400	- -	562/770 Diesel	35	15
	Magnum Force 6800	- -	562/770 Diesel	-	-
	Magnum Force 8800	- -	770/950 Diesel	48,5	15
Peterson	2410	OBM Tech	340 Diesel	-	-

Tabell 11. Stationära finkrossar**Table 11. Stationary grinders**

Fabrikat	Modell	Försäljare i Sverige	Motoreffekt (kW)	Vikt (ton)	Längd (m)
<i>Doppstadt</i>	AK 230 E	OP Maskin AB	160 El	10,5	6,9
	AK 430 E	- -	250/315 El	19	7,2
	NZ 180	- -	250/315/400 El	14,2	4,7
<i>Vermeer</i>	HG365E	S & H Teknik AB	185 Diesel	14,5	7,8
<i>HAAS</i>	HSZM 1600*	ReTec Miljö AB	328 Diesel	-	-
<i>Hammel</i>	NZS 700 diesel	Kiesel Scandinavia AB	260 Diesel	14	-
	NZS 700 electric	- -	160/200/250El	13	-
	NZS 1000 electric	- -	250/350 El	19	-
<i>CBI</i>	Annihilator	Allan Bruks AB	460 Diesel, 220/370 El	-	-
<i>ARJES</i>	Raptor XL	Andersen Contractor AB	340 Diesel, 250 El	-	-

* Går att montera på släp för mobil användning

Tabell 12. Kombimaskiner**Table 12. Combined shredders**

Fabrikat	Modell	Försäljare i Sverige	Motoreffekt (kW)	Vikt (ton)	Längd (m)
<i>Doppstadt</i>	DZ 750*	OP Maskin AB	450 Diesel	46	13,5
	DZ 750 Bio*	- -	450 Diesel	46	13,5
<i>Hammel</i>	KompBio*	Kiesel Scandinavia AB	390 Diesel	38	12

*Semimobil

4 Diskussion

4.1 Metodkritik

Studien var planerad att utföras på en trakt med sex olika krosstillfällen (högar). Under arbetets gång ändrades förutsättningarna ett flertal gånger då värmeverket ej längre hade avsättning för de krossade stubbarna. Detta ledde till att en ny trakt fick uppletas med mycket kort varsel och därmed fanns endast möjlighet att genomföra studien på två krosstillfällen (högar).

Vid Granlund och Eliassons studie (2010) framgår att tre upprepningar av varje krossmaterial gjordes. Detta är en upprepning mer än vid denna studie men förefaller ändå vara för få upprepningar. Vid denna studie framgick tydligt svårigheterna att samordna och planera en studie där flera parter är inblandade och där maskinlaget snabbt förflyttar sig mellan olika trakter samt där även vädret kan ställa till besvär. Gott om tid bör avsättas för fältstudier så att tidsbrist p.g.a. missöden och felplaneringar inte sker. Volymmätning av stubbvältor är svårt. Stubbarna har oregelbundna former och lämnar mycket tomrum mellan sig i vältan, detta gör att det är mycket svårt att bedöma fastmasseprocent.

4.2 Resultat

Produktiviteten vid krossning av hög 2 var lägre än hög 1. Detta beror på att mer tid ägnades åt tillrättaläggning och ”plockarbete” vid krossning av hög 2. I von Hofstens studie (2010) framgår att produktiviteten vid grovkrossning av stubbar med samma krossmaskin, Doppstadt 3060 W uppgick till 25 ton/g₀h (von Hofsten, 2010). Resultatet i denna studie gav en produktivitet på 27,1 ton/g₀h resp. 25,7 ton/g₀h. Resultatet från denna studie verkar alltså fullt rimligt. Det bör dock beaktas att lastmaskinen i denna studie och von Hofstens studie skiljer sig (i denna studie används en kranlastbil medan en grävmaskin användes vid von Hofstens studie för att mata krossen). Det är rimligt att anta att skillnaden på lastmaskin inverkar på produktiviteten, även storleken på materialintaget påverkar produktiviteten. Det kan vara av intresse att även jämföra produktiviteten hos en grovkross likt denna studie mot en finkross. Produktiviteten för en Vermeer 6000 kross finkross uppgick till 42,8 ton/g₀h (Lindberg, 2008) och produktiviteten för en CBI 8400 finkross uppgick till 38,3 tonTS/g₀h (Eliasson & Granlund, 2010). Detta är betydligt högre än produktivitetssiffror som uppvisats i studier av grovkrossar som kan förklaras med den högre motoreffekten hos ovanstående krossar jämfört med Doppstadt 3060 W som användes i denna studie.

Vidare forskningsbehov bedöms vara hur faktorer som avläggets storlek, stubbarnas egenskaper, storlek samt fukthalt påverkar produktiviteten

För att mäta fukthalter på ett idealt sätt bör prov ur krossmaterialet tagas från olika delar av ursprungshögen. Sannolikt är det så att olika delar i en stubbvälta har olika fukthalter, faktorer som väderstreck, plats på stubben i vältan samt trästyckets storlek påverkar den enskilda stubbens fukthalt. Detta bör helst avspeglas vid fuktprovstagning, dock är det svårt att hålla den kontroll som krävs för att bibehålla noggrannheten.

4.3 Marknadsöversikt

Vid struktureringen av marknadsöversikten gjordes bedömningen att bandgående maskiner skulle placeras i kategorin "semi-mobila" av den anledningen att de inte kan förflytta sig mellan trakter utan trailertransport. Krossar på hjulchassi som klassades som mobila är i vissa fall inte fullt så mobila som andra krossar på hjulchassi. De klassades som mobila enbart på grund av deras möjlighet att flyttas mellan krossobjekt utan trailertransport, många av de krossarna är så pass stora att de inte lämpar sig för skogsbilvägar och små avlägg där bärighet och utrymme är begränsande faktorer. Val av krossmaskin till en viss trakt beror av traktens egenskaper samt krossmaskinens egenskaper. Stationära krossar finns i vissa fall som mobila eller semi-mobila krossar genom att krossaggregatet monterats på ett hjul eller bandchassi. Liknande marknadsundersökningar har innefattat samtliga maskiner som ett visst fabrikat producerar i samma tabell och därefter använt sig av kompletterande kommentarer (Anon. 2009n). Detta är bra för att få en sammanfattande bild över samtliga maskiner som en viss firma tillverkar. Däremot blir ett sådant upplägg rörigt då både krossar, flismaskiner, stubbskördare och stationära maskiner presenteras i samma tabell. Finska Bioenergia har också gjort en marknadsöversikt där samma princip med att samla ett fabrikat per tabell och sedan presentera samtliga företagens modeller i samma tabell har använts (Anon. 2009n).

4.4 Behov av vidare studier

En kartläggande studie över vilka faktorer som har betydelse för produktiviteten bör utföras för att lättare förstå vilka faktorer som påverkar grovkrossningens produktivitet.

Krossmaterialets beskaffenhet, som i fallet stubbkrossning innebär ett spretigt material, är troligen starkt avgörande för produktiviteten. Det kan nämnas att vid krossning av stubbar istället för rundved minskas produktiviteten med 51% (Eliasson & Granlund 2010). Vid en förstudie till detta exjobb utförd av författaren framgick ett antal intressanta åsikter från maskinförarna. En typ av intervju- eller enkätstudie hos ett antal stubbkrossnings-entreprenörer skulle vara ett mkt bra sätt att fånga in dessa åsikter och därmed få en bättre insikt i de produktionsavgörande faktorerna. Maskinförarna besitter stor kunskap och erfarenhet av krossningsarbete, kunskap som bör utnyttjas för att öka produktiviteten vid grovkrossning.

Vidare framgick att det finns en bristande kommunikation mellan de olika parterna i produktionskedjan. Genom att styra hela kedjan från stubbrytning till slutförbrukarens krav skulle ett mer helhetsmässigt arbetssätt kunna uppnås, vilket i sin tur sannolikt skulle leda till högre produktion. Ett exempel på detta är hur de brutna stubbarna placeras på avlägget. I många fall placeras de på ett sätt som troligen är enklast för stubbrytaren eller de lastbilar som transporterar stubbarna till krossplatsen. Detta är dock i många fall ett olämpligt upplägg för stubbkrossentreprenören som då måste ägna tid åt att rangera runt stubbarna på avlägget.

Referenser

Anerud, E. 2010. *Stump as a fuel - the influence of harvesting technique and storage method on fuel quality of Norway spruce*. Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet. Uppsala

Anon. 2008a. *Skogliga konsekvensanalyser 2008*. SKA -VB 08. Rapport 25. Swedish Forest Agency.

Anon. 2010b. Doppstadt Brochure DW series.
http://www.doppstadt.com/media/pro_mobil_dw_eng.pdf (Hämtad: 13 dec 2010)

Anon. 2011c. Haas gmbh. <http://www.haas-gmbh.de/en/produkte.php> (Hämtad: 21 feb 2011)

Anon. 2011d. Hammel. <http://www.hammel.de/produkte/produkte.php> (Hämtad: 21 feb 2011)

Anon. 2011e. Direct industry. <http://www.directindustry.com/prod> (Hämtad: 21 feb 2011)

Anon. 2011f. CBI inc. <http://www.cbi-inc.com/uploads/Produktbladmailpdf.pdf> (Hämtad 21 feb 2011)

Anon. 2011g. Tana brochure. <http://www.tana.fi> (Hämtad: 21 feb 2011)

Anon. 2011h. Morbark inc. <http://www.morbark.com/Equipment/Forestry.html> (Hämtad: 21 feb 2011)

Anon. 2011i. Komptech. <http://www.komptechusa.com> (Hämtad: 21 feb 2011)

Anon. 2011 j. Peterson. <http://www.mascus.com/Construction/Used-Waste-Shredders/Peterson,1,relevance,for-sale.html> (Hämtad: 21 feb 2011)

Anon. 2011k. Vermeer. <http://www2.vermeer.com/vermeer/EM/en/N/> (Hämtad: 21 feb 2011)

Anon. 2011l. ARJES. <http://www.arjes.de/en/products/> (Hämtad: 21 feb 2011)

Anon. 2009m. Bioenergi. Nr. 6. (Hämtad: 15 mar 2011)

Anon. 2009n. Bioenergia. 27. 8. 2009 (Hämtad: 15 mar 2011)

Asikainen, A. 2010. *Simulation of stump crushing and truck transport of chips*. Scandinavian Journal of Forest Research, Taylor and Francis, Stockholm. 2010; 25: 245-250.

Bergstrand, K.G. 1987. *Planering och analys av skogstekniska tidsstudier*. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Kista. Meddelande 17. ISSN 0532.2499

Eliasson, L. & Granlund, P. 2010. *Krossning av skogsbränsle med en stor kross*. Arbetsrapport Skogforsk, Uppsala. Nr 716. 2010.

Egnell, G. 2008. *Biobränslemarknaden i Sverige - En nulägesanalys*. Institutionen för skogens ekologi och skötsel, Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå. Skog & trä 2008:1.

Jirjis, R. & Anerud E. 2009. *Skördeteknik och lagring påverkar bränslekvaliteten*. Institutionen för energi och teknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Kardell, L. 2004. *Svenskarna och skogen: del 2: från baggböleri till naturvård*. Skogsstyrelsens förslag.

Lindberg, D. 2008. *Stubbtransporter och bränslekvalitet hos stubbved*. Institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå.

Lähtikangas, P. 1998. *Lagringshandbok för trädbränslen*. Institutionen för virkeslära, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

Nylinder, M. 1977. *Upptagning av stubb - och rotved*. Forskningsstiftelsen Skogsarbetaren. Redogörelse Nr 5, 1977.

Hällestrand, R. & Tolblad, A. 2010. *Stubbskörd och miljöeffekter*. Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Regeringskansliet. 2009. *Sveriges Nationella Handlingsplan för främjande av förnybar energi enligt direktiv 2009/28/EG och Kommissionens beslut av den 30.6.2009*.

Vasaitis, R. 2010. *Prioritera stubbar med rotröta*. Institutionen för skoglig mykologi och patologi, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Von Hofsten, H. 2010. *Effektivare transporter om stubbarna krossas på avlägg*. Skogforsk, Uppsala. Resultat Nr 2, 2010.

Personlig kontakt

Nilsson, M. 2011. OP System AB. Pers. komm.

Johansson, P. 2011. Norrlands jord och miljö AB. Pers. komm.

Karlsson, O. 2011. OP System AB. Pers. komm.