



Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 783–2012

Jämförande studie av två stubbrytningsaggregat, Biorex 50 och Stubbfräsen

– Effekter på stubbskördssystemet från brytning till grovkrossning på avlägg

Comparative study of two stump lifting heads, Biorex 50 and the Rotary stump cutter

– Effects on stump procurement system from lifting to grinding on landing

Henrik von Hofsten och Tomas Johannesson Skogforsk, Erik Anerud, SLU

Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 783–2012

I Arbetsrapporter redovisar Skogforsk resultat och slutsatser från aktuella projekt. Här hittar du bakgrundsmaterial, preliminära resultat, slutsatser och färdiga analyser från vår forskning.

Titel:

Jämförande studie av två stubbrytnings-aggregat, Biorex 50 och Stubbfräsen – Effekter på stubbskördssystemet från brytning till grovkrossning på avlägg.

Comparative study of two stump lifting heads, Biorex 50 and the Rotary stump cutter – Effects on stump procurement system from lifting to grinding on landing.

Bildtext

Stubbfräsen monterad på en Volvo-grävare vid studietillfället.

Ämnesord:

Stubbskörd, stubbskotning, produktion, sönderdelning, askhalt. Stump harvest, stump forwarding, production, comminution, ash content.

Redigering och formgivning:

Inggerd Hallberg

© Skogforsk 2012

ISSN 1404-305X



SKOGFORSK

Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala

Tel: 018-18 85 00 Fax: 018-18 86 00

skogforsk@skogforsk.se

skogforsk.se



Henrik von Hofsten, är skogstekniker och har jobbat på Skogforsk i 25 år inom ett flertal olika projekt. Under de senaste sex åren har han ägnat sig åt att utreda bästa teknik- och metod för att ta vara på stubbved som bränsle, från brytning till sönderdelning.



Tomas Johannesson, arbetar med forskning och skogsbränslerelaterad utbildning på Skogforsk sedan 2007. Ämnesområdet består främst av kvalitets- och effektivitetshöjande åtgärder inom produktionskedjan. Tomas arbetar även med planerings- och tillståndsfrågor som rör skogsbränsleavlägg.



Erik Anerud, SLU, är Jägmästare och skog doktor vid Sveriges lantbruksuniversitet. I sin avhandling har han studerat inverkan av olika hanteringsmetoder på stubbränslekvaliteten. Erik har fortsatt att arbeta med kvalitetsaspekter inom skogsbränslekedjor, främst inom ramen för skogsbränsleprogrammet ESS.

Abstract

Extraction of stumps for use as biofuel use is an slowly increasing operation in Sweden. This is partly because of great uncertainty about which harvesting system to choose. One system studied by Skogforsk (Forestry Research Institute of Sweden) is a rotary stump cutter, resembling an augur, which cuts off the roots. The stump can then be lifted and split with a shear-blade attached to the side of the stump cutter. The advantage of this method is that it leaves the majority of the roots in the ground, thereby reducing soil impact to a relatively low level. However, yield in terms of extracted volumes per hectare will be lower than the yield we are used to from more traditional systems.

Apart from lower productivity, disadvantages of the rotary stump cutter include problems of forwarding and decomposition. All in all, the system costs for harvesting with the rotary cutter are 50% higher than those of a conventional system. In our study, system costs increased from SEK 98 to 150 per MWh, excluding road transport.

Förord

Studien har finansierats av forskningsprogrammet ESS, ”Effektivare skogsbränslesystem – program 2011–2014”, vilket ingår i Energimyndighetens temaprogram ”Uthållig tillförsel och förädling av biobränsle”. ESS finansieras av Energimyndigheten, skogsbruket, bränsleanvändarna och Skogforsk.

Uppsala 2013-01-08

Henrik von Hofsten & Tomas Johannesson, Erik Anerud

Innehåll

Förord.....	1
Sammanfattning.....	3
Material och metod.....	3
Utrustning.....	4
Studien	5
Prover och analyser.....	5
Resultat.....	6
Stubblyftaren.....	6
Skotaren	7
Krossningen.....	10
Torr- och askhalter.....	11
Systemkedjan.....	11
Diskussion.....	13
Stubbskörden.....	13
Skotningen.....	13
Krossningen.....	14
Ekonomi.....	14
Referenser	15
 Bilaga 1 Momentindelning för studien av stubbfräsen, skotarstudien och	
krossningsstudien.....	17

Sammanfattning

Optimeringar av hela maskinsystem är en komplex uppgift. Skörd och skotning av stubbar samt hanteringen kring dessa system är inget undantag. I skrivande stund finns en förhoppning hos många aktiva i branschen, om ett förestående tekniksprång som skapar förutsättningar för ett ökat uttag av stubbar på ett ekonomiskt, ekologiskt och på ett tekniskt hållbart sätt.

En av de tekniker som studeras av Skogforsk för skörd av stubbar är den s.k. *stubbfräsen*, som likt en hålsåg fräser loss de stubbar som ska skördas, lyfter dem ur marken och därefter klyver de ”cylindrar” som frästs loss ur stubbkärnan. Vid skörd med denna teknik lämnas merparten av rötterna kvar i marken, vilket leder till en relativt liten markpåverkan samt minskar risken för körskador vid skotningsarbetet. Detta innebär också att uttagsvolymerna per hektar blir lägre samt att de stubbdelar som skördas blir mindre än vad vi är vana vid från de mer traditionella systemen, då stubbarna är skördade med konventionella brytande aggregat.

De mindre stubbdelarna har både för- och nackdelar. Bland de rent tekniska fördelarna finns förväntningar på att dessa ska vara mer lätthanterliga för efterkommande krossar, samt att de ska binda mindre föroreningar än de stubbar som skördas traditionellt. Bland nackdelarna kan räknas att skotaren får ett svårare arbete på grund av det lägre uttaget per hektar, samt att de stubbdelar som skördas blir till storleken mindre och därmed mer svårhanterade med gripen. De skotare som normalt används vid stubbskotning i dag, bör modifieras gällande gripar och lastreden vid skotning av frästa stubbar.

Skogforsk redogör i denna studie för hur prestationer- och kostnader fördelar sig mellan två system innehållande stubbskördare, skotare och kross för sönderdelning, varav det ena systemet innehåller stubbfräsen och det andra är ett konventionellt system.

I detta fall ökade systemkostnaderna från 98–150 kr per MWh (megawatt-timme) exklusive vägtransport för systemet med stubbfräsen.

Material och metod

Studien genomfördes på Holmen Skogs marker söder om Fredrika i tre olika delar. Terrängen var likartad över hela försöksområdet med G.Y.L. = 3.1.1. Inledningsvis genomfördes en enklare tidstudie av stubblyftning med stubbfräsen i början av november 2011. Vid detta tillfälle gavs inte möjlighet att studera något annat aggregat på samma mark som jämförelse.

Under sista veckan i augusti 2012 skotades dels det försöksområde (ca 4 ha) som lyfts med stubbfräsen, dels delar av det ca 20 hektar stora hygget som lyfts med ett *Ecorex 50* stubbskördaggregat. Området fördelades så att sex lass kunde skotas efter respektive stubbskördare. Stubbarna skotades till en färdigställd plan vid bilvägen för senare krossning och sållning.

Krossningen utfördes under andra veckan i september 2012. Materialet krossades då till en mycket grov fraktion (ca 500 mm) med en långsamtgående vals-kross, som matade materialet direkt till en trumsikt. Det siktade materialet vägdes med skopvåg på den hjullastare som användes för att lägga upp flisen på stackar. Tyvärr gick det bara att krossa de frästa stubbarna då de normalt lyfta stubbarna placerats i en hög, som inte gick att komma åt vid studietillfället på grund av extremt lös mark, efter flera veckors regnande. I stället gjordes en tidsstudie på normalt lyfta stubbar från ett annat objekt i närheten, lyfta med samma maskin och av samma förare.

UTRUSTNING

Stubbskördaren var en *Volvo Lc 210B* bandgående grävare, som i normala fall körs med ett *Ecorex 50* stubbskördaggregat. Inför studien var aggregatet utbytt mot den studerade stubbfräsen, se bilden på framsidan. Stubbfräsen består av en roterande trumma, 70 cm i diameter och tandad i nederkant, som sätts över stubben (von Hofsten & Nordén, 2007). När trumman roterar, fräses rötterna av och den centrala delen av stubben kan lyftas upp. Därefter kan stubbkärnan klyvas och/eller flyttas med hjälp av den tång som sitter på trumfästets framkant. Beroende på stubbens diameter blir det ibland nästa inga rotben alls utan enbart själva kärnstubben, (Figur 1).



Figur 1.
Exempel på en grov fräst stubbe till vänster, några hoplagda mindre stubbar i mitten samt hålet efter att en stubbe plockats upp till höger.

Skotaren var en *John Deere 1710D* utrustad med ett *ALS lastrede*, en fyrfingrad risgrip storlek 0,36 m² samt ett *Huldtins grotrede* monterat på vagnens *ALS-system*. Kopplat till *ALS-systemet* fanns en vågutrustning. Under studien hade skotaren även utrustats med en kranspetsmonterad *Intermercatorvåg* för att väga materialet. Vågarnas resultat antecknades vid varje lass för att kontrollera samstämmigheten.

Grotredet var även utrustat med ”ank-stjärt” och en fällbar bottenbalja för att enkelt kunna städa vagnen vid behov. Bottenbaljan tömdes mellan varje lass, för att inte lassvikterna som samlades in skulle påverkas, genom att föraren greppade ett fäste i baljans framkant och tippade denna bakåt likt ett lastbilsflak.

Maskinen ägdes av Br. Perssons skogsmaskiner AB och kördes av Niklas Håkansson som har mångårig vana av maskinarbete och som utförde arbetet på ett föredömligt sätt.

Krossningsutrustningen bestod av en *Doppstadt Büffel DW-3060* långsamtgående valskross, ställd för en utfraktion om ca 500 mm som matades av en separatlastare med ca 12 meters räckvidd, och som utrustats med vågutrustning i kranspetsen. Från krossen matades materialet direkt till en *Doppstadt SM-518* trumsikt med 10 mm maskstorlek. Det siktade materialet matades ut bakåt där det vägdes och lades upp på stack av en *Volvo L60E* hjullastare med skopvåg. Det bortsiktade materialet ”rejektet”, matades åt sidan och spreds efter avslutat arbete vid sidan av vägen. Maskinerna ägdes av Valbo Entreprenad och kördes av Daniel Halvarsson och Rune Vikström.

STUDIEN

Samtliga tidsstudier gjordes med en Allegro handdator med Skogforsks tidsstudieprogram SDI, se momentindelningar i Bilaga 1. För stubblyftaren kunde inget jämförelseobjekt studeras, men för skotaren studerades frästa och normaltlyfta stubbar från samma objekt med sex lass av vardera. I skotarstudien mättes också lastningssträckan för varje lass, från första till sista hög, med en trådmätare. I samband med avlastning noterades vikterna från såväl bankvågen som kranvågen. Det faktiska skotningsavståndet varierade från 50–450 meter men i analysen har ett genomsnittligt skotningsavstånd om 250 meter använts. För krossen studerades frästa och normaltlyfta stubbar från två olika objekt, då de normaltlyfta stubbarna som var tänkta att studeras var oåtkomliga på grund av långvarigt och ihållande regn. Krossningsstudien skiljer sig också något från de övriga, då tidstudien inte fokuserar på kranarbetet utan på krossens arbete, vilket innebär att några analyser på krancykelnivå inte kan göras.

PROVER OCH ANALYSER

Innan tidstudien av lyftningsarbetet för de frästa stubbarna lades två provvytor ut där samtliga stubbar större än ca 15 cm klavades och numrerades så att tidsåtgången kunde sättas i relation till storleken, Tabell 1. Stubbarnas vikt i kg torrsvikt, beräknades med Marklunds (Marklund, 1988) mindre stubbfunktioner.

Tabell 1.

Terrängförutsättningar m.m. för de bägge provvyterna i lyftningsstudien. Med ”överhöga stubbar” avses stubbar som kapats högre än vad som torde motsvara 1 % av trädhöjden, vilket Marklund (1988) räknar med i sina funktioner.

	Yta 1	Yta 2
Inmätta stubbar, antal	95	100
– Medeldiameter, cm	36,2	30,3
– Överhöga, antal	61	46
– Höjd, cm	17	13
– TTV	4,16	2,75
G.Y.L.	3.1.1.	3.1.1.
Lyfta stubbar, antal	83	80
– Medeldiameter, cm	36,6	30,1
– TTV	3,71	2,18

I samband med att de frästa stubbarna krossades, togs prover från såväl acceptflisen som från det utsållade ”rejektet”, vilka torrhaltsbestämts genom torkning i värmeskåp (104°C) under två dygn. Eftersom de normalbrutna stubbarna inte kunde sönderdelas, har inga torrhaltsprover kunnat tas därifrån varför resultaten redovisas utifrån den torrhalt som uppmäts i de frästa stubbarna och under antagandet att skillnaden i torrhalt inte skiljer så mycket.

Resultat

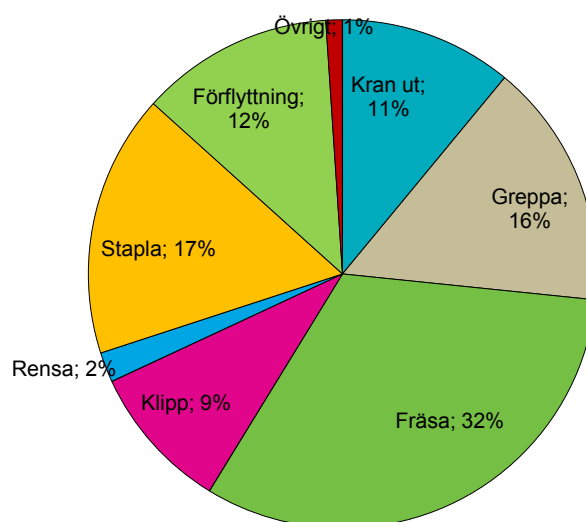
STUBBLYFTAREN

Resultaten från stubblyftningen uppvisar inga oväntade resultat. Räknet som antal stubbar per studietimme presterar fräsen relativt bra men räknat per TTV (ton torrsvikt) blir prestationen betydligt lägre, se vidare i diskussionsavsnittet.

Tabell 2.

Momenttider i Cmin (centiminuter) och prestation för stubblyftaren för respektive provyta. Diagrammet till höger visar de olika arbetsmomentens relativa fördelning av total tid.

	Yta 1	Yta 2
Kran ut	746	776
Greppa/plocka	1 309	859
Fräsa	2 962	1 490
Klipp	816	473
Rensa	171	95
Stapla	952	1 361
Förflyttning	992	710
Övrig verktid	113	32
Total tid	8 061	5 797
Antal stubbar	83	80
Total torrsvikt, ton	3,71	2,18
Stubbar/G ₀ -h	62	83
TTV/G ₀ -h	2,76	2,25

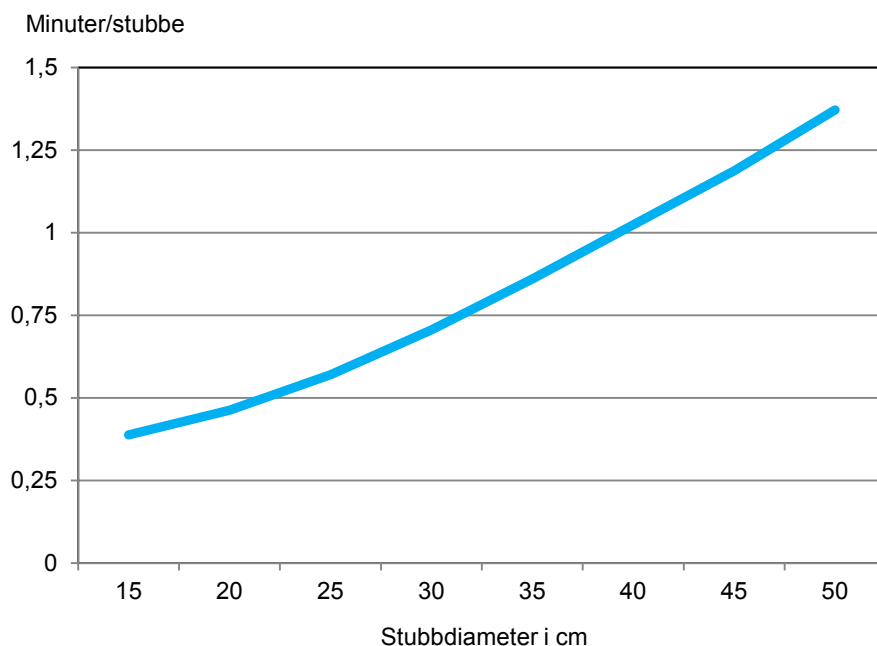


På grund av mycket små skillnader mellan förutsättningarna på de bägge provytorna har det varit svårt att göra en bra statistisk analys av materialet. Bäst förklaring ($r^2 = 0,43$, $p < 0,0001$) fås genom att ställa total tid mot stubbens torrsvikt i kg, vilket gav följande funktion;

$$T = 32,6607 + V * 1,6347 - 0,0044 * V^2$$

Där T = tiden för effektivt arbete.

V = stubbens vikt i kg torrsvikt.



Figur 2.
Förhållandet mellan stubbens storlek i kg torrvikt här uttryckt som stubbdiameter och tidsåtgången för att lyfta, rensa, klyva och lägga den på hög.

SKOTAREN

Tidsstudierna från skotningen visar på en tydlig försämring av prestationen vid hanteringen av frästa stubbar. Prestationsminskningen samvarierar med två faktorer, materialmängd per meter körd sträcka (Figur 3) samt krancykler per lass (Figur 4).

De tider som uppmättes för det effektiva maskinarbetet fördelades enligt Tabell 3 (momentindelnings Bilaga 1). Tiderna för tomkörning- och lastkörning har normerats till 53 m/minut och 250 meter enkel väg för samtliga lass.

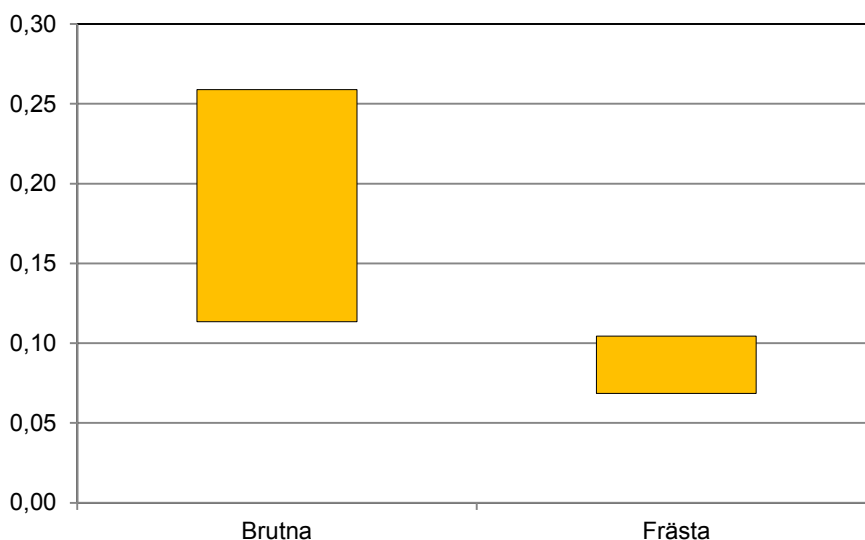
Analysen visar att skotarens prestation sjunker med 32 % (Tabell 3) vid skotning av de frästa stubbarna jämfört med de brutna. Den största tidsskillnaden räknat i centiminuter per TTV finns i momentet för *Körning under lastning* beroende på den längre körsträcka som behövs för att få fullt lass (Figur 3). Men även i lastnings- och lossningsarbetet finns tydliga skillnader då stubbdelarna är mindre och att gripen och redet inte är anpassat för detta.

Tabell 3.
Tidsdata från skotningen. Grundtider i cmin (centiminuter).

Moment	Brutna	Frästa
Kran ut	2 726	3 508
Grip	1 745	2 354
Kran in	2 411	2 996
Släpp	464	740
Ordna	51	162
Spillfix	618	2 952
Körning under lastning	45	1109
Lossning	5 735	6 091
Körtid vid 250 m	5 660	5 660
S:a Skotningstid cmin	19 455	25 572
Lastvikt TTV	6,00	5,38
Skotad mängd, TTV	36,0	32,3
Prestation TTV per effektiv skotningstimme	11,10	7,57

Analysen visar tydligt att mängden stubbved som skötats från provytorna skiljer sig mellan brytningsmetoderna (Figur 3). Som mest fanns 0,26 TTV per löpmeter skotningssträcka för de brutna stubbarna, till som minst 0,04 TTV per löpmeter för de frästa stubbarna, vilket innebar att lastningssträckan varierade från i medeltal 30 meter till 100 meter mellan metoderna.

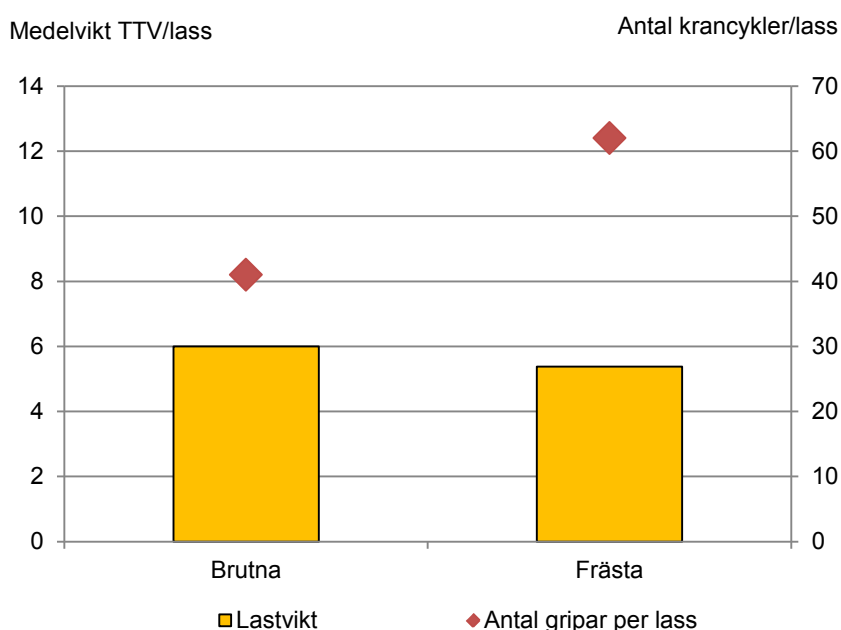
Ton torrvikt/löpmeter



Figur 3.
Mängden material per löpmeter lastningssträcka varierar beroende på metod för stubbskörden.

Det kan inte konstateras några större skillnader mellan krancykeltiderna i lastningsarbetet mellan de olika behandlingarna. Samtliga moment är relativt lika förutom momentet ”Ordna” där det finns signifikant ($p = 0,047$) skillnad i tidsbehov. Momentet innefattar tid för att justera materialet på lasset, främst för att inget material ska falla av, och det ter sig svårare att pussla med de frästa stubbarna som lättare faller ut mellan de sidoräcken som fanns på lastredet. Detta framgår även i jämförelsen av lastvikterna (Tabell 4), där lassen med de frästa stubbarna har 11 % lägre vikt än de övriga beroende på att det inte gick att lasta särskilt högt ovanför stakarna, utan att stubbdelarna började ramla av.

Dessutom visar analysen en tydlig skillnad mellan mängden material per grip mellan behandlingarna, där gripvikterna var betydligt lägre för de frästa stubbarna. Denna skillnad hänger samman med att skotaren hade svårare att greppa stora knippen av de frästa stubbarna, medan de brutna stubbdelarnas form medförde att knippena hängde samman bättre, varvid en större mängd material kom med i varje grip. Medelvikten för griparna på det brutna materialet var 49 % högre än motsvarande för de frästa stubbarna. Detta innebär att för att lasta ett medellass på 5,7 TTV ökar antalet krancykler från 41, för de brutna, till 61 för frästa stubbarna (Figur 4).

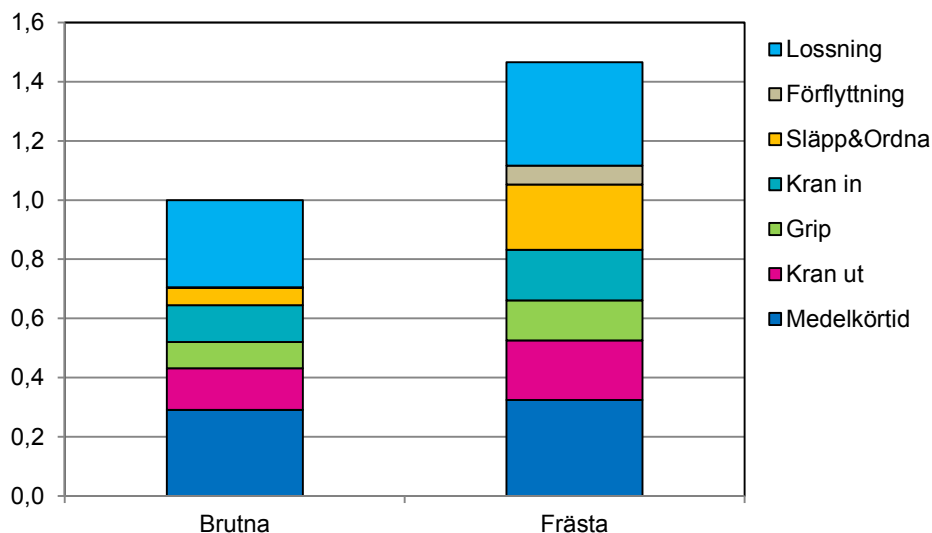


Figur 4.
Staplarna visar genomsnittlig lastvikt i ton per lass och romberna visar genomsnittligt antal krancykler i lastningsarbetet.

Skillnaderna i gripvikt påverkade givetvis resultatet för de två sortimenten gällande momentider för lastningsarbetet räknat som centiminuter per TTV (Tabell 3). De största skillnaderna finns i momenten *Grip* samt *Spillfix*, vilket bedöms vara ett resultat av de frästa stubbdelarnas form som var mindre och därmed mer svårhanterliga än de traditionellt brutna stubbarna.

Analysen visar även att lossningsarbetet tog längre tid för de frästa stubbarna. Sammantaget ökade tidsbehovet per ton för kranarbetet vid lastning och lossning med 43 % för de frästa stubbarna jämfört med de normalbrutna, Figur 5. Samtidigt tillkom en femfaldig ökning av förflyttningstiden för att plocka ihop ett lass av de frästa stubbarna då mängden material per löpmeter var lägre.

Ytterligare ett moment som tillkom i försöksleden med de frästa stubbarna är tid för att ordna med stubbdelar som ramlar av maskinen eller ramlar ur vältan vid lossning. Totalt omfattade detta merarbete en tidsökning med 7 %. Studiens resultat visar på en sammantagen tidsökning per ton med 47 % för de frästa jämfört med normalbrutna stubbar.



Figur 5.
Tidsfördelningen för de tidsmoment som studerats. Momenten för *Släpp*, *Ordna* och *Spillfix* har summerats i diagrammet till *Släpp&Ordna*. Medelkörstiden är normerad till 250 meter.

Produktiviteten för skotaren i denna studie var 11,10 TTV/G₀-timme för de brutna stubbarna respektive 7,57 TTV/G₀-timme för de frästa. Kranarbetet, d.v.s. lastning och lossning, står för 68–71 % av den effektiva tiden.

KROSSNINGEN

Studien av krossningsarbetet fick göras på två olika avlägg på grund av dålig bärighet invid vältan med de normalbrutna stubbarna på det första avlägget. Studieupplägget var dock lika i båda fallen. Av resultaten framgår att de normalbrutna stubbarna gick något fortare att sönderdela än de frästa, Tabell 4, oavsett om man räknar på total tid eller enbart per effektiv krossningstid. Se även momentbeskrivning i Bilaga 1.

Tabell 4.
Momenttider i Cmin (centiminuter) och prestation för Krossen för respektive material. För momentbeskrivning se Bilaga 1.

	Brutna	Frästa
Krossning	8 435	6 756
Väntan	638	1 094
Flytt m. uppställningar	401	151
Övrig verktid	638	290
Total tid	10 001	8 249
Processad mängd, TTV	47,6	34,1
– Flismängd, TTV	26,9	20,5
– Rejekt, TTV	20,7	13,7
– Andel rejekt, %	43,5	40,2
Σ Processat, TTV/G₀-h	28,6	24,8
– Σ Siktat mtrl. TTV/G₀-h	16,2	14,9

Orsaken till den högre produktionen för normalbrutna stubbar är inte säkerställd. Det kan naturligtvis inte uteslutas att det var någon icke uppenbar skillnad i stubbarnas hårdhet mellan avlägggen, men troligare är att det beror på skillnader i stubbarnas utseende. Dessutom uppstod en del problem när drygt hälften av de frästa stubbarna var krossade, då en stubbe fastnade mellan fingrarna i gripen. Arbetet fortsatte ändå men det påverkade säkerligen hur mycket material som fick plats i varje grip. Möjligen kan det vara orsaken till att det är så hög andel väntetid, då krossen gick tom i väntan på mer material, för de frästa stubbarna.

Torr- och askhalter

I samband med sönderdelningen togs fem flisprover samt ett prov från ”rejektet” av vardera normalbrutna och frästa stubbar, för att bestämma TH (torrhalten) och askhalten i materialet. Proverna vägdes först färskt, torkades i två dygn i 104 °C till dess proverna var helt torra och vägdes igen. För de frästa stubbarna var TH på flisen 60,3 % och på ”rejektet” 61,4 % medan de normalbrutna hade en TH på 77,9 % respektive 67,5 %. Skillnaden i torrhalt kan säkerligen förklaras med att de normalbrutna (som blev tvungna att köras på ett annat avlägg) hade legat längre i vält innan sönderdelning.

Inför askhaltsbestämningarna flisades först varje prov (ca 1 kg) i en kompostkvarn av märket *Klippo Pro K 310*. Det flisade materialet blandades väl varefter de maldes i en Retch-kvarn, till ett pulver med en partikelstorlek understigande 0,25 mm. Askhalten på pulvret bestämdes i enlighet med Svensk standard SIS SS 18 71 71; 1984, varefter andelen aska redovisas som medelvärde av ett dubbelttprov från generalprovet för att säkerställa kvaliteten på analysen.

Askhalten i de normalbrutna stubbarna var 1,9 % och i de frästa 3,5 %. Askhalten i ”rejektet” var 64,7 % efter de normalbrutna och 83,1 % efter de frästa stubbarna.

SYSTEMKEDJAN

Resultaten ovan har enbart berört respektive länk i systemkedjan var för sig, men oftast är det intressantare att se på produktion- och kostnader för hela kedjan, snarare än den enskilda länken. I Tabell 5 redovisas summatiderna för respektive systemlänk samt den invägda mängden färdigrensad flis för respektive försöksled. För stubblyftaren har prestationen för fräsen tagits direkt från Tabell 2 medan för normal stubblyftning har använts en prestation från en annan studie med likvärdigt aggregat, basmaskin och terrängförutsättningar (von Hofsten et al., 2012). För skotaren har prestationen i Tabell 5 beräknats utifrån mängden färdig siktad flis och stämmer således inte helt med prestationerna i Tabell 3 där de baseras på data från skotarens kranvåg. I gengäld blir prestationerna för varje länk i systemkedjan mer jämförbara då de alla baseras på mängden ren ved.

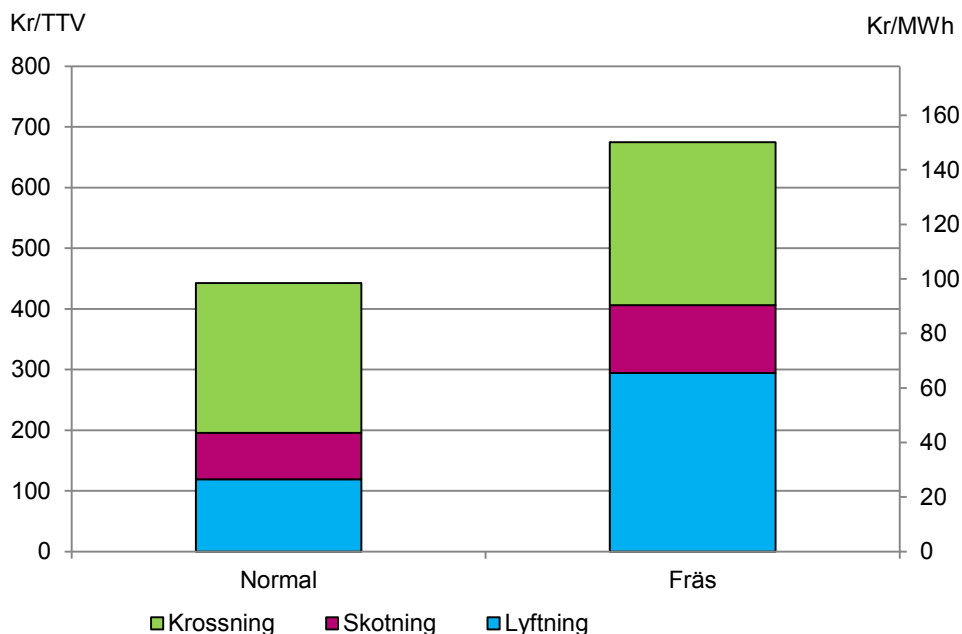
Tabell 5.

Sammanställning av grundtider i cmin (centiminuter) samt mängden siktat, färdigt material för respektive länk i systemkedjan fördelat på försöksled.

	Brutna	Frästa
Mängd färdig flis, TTV	25,2	20,5
Lyftning, TTV/G ₀ -h	6,3*	2,6
Skotning, TTV/G ₀ -h	11,1	7,6
Krossning, TTV/G ₀ -h	16,2	14,9

* Då ingen tidstudie gjordes på normal stubblyftning i denna studie är denna siffra hämtad från von Hofsten m.fl. 2012.

Timkostnaden för stubblyftaren har beräknats till 750 kr/G₀-h och skotaren till 850 kr/G₀-h. Kross inklusive separatlastare och lastmaskin har satts till 4 000 kr/G₀-h. Med prestationerna från Tabell 5 kan en total kostnad beräknas enligt Figur 6.



Figur 6.

Kostnaden per TTV och MWh för hela systemkedjan. Observera att de prestationer som ligger till grund för diagrammet baserar sig på G₀-tid. Som jämförelse har kostnaderna även räknats om till Kr/MWh vid 4,5 MWh/TTV.

Diskussion

STUBBSKÖRDEN

Stubbfräsen har studerats en gång tidigare (von Hofsten & Nordén, 2007) i en något annan tappning med svagare hydraulmotor och utan klipp. Då presterade den 60 stubbar/ G_0 -timme eller 2,16 TTV/ G_0 -h, vilket är något mindre än vad som presterades i denna studie. Delar av den tidigare studien var helt fräska stubbar, vilket orsakade en del problem men å andra sidan klövs stubbarna i denna studie, vilket också tar tid. En stor fördel med klyvningen är dock att veden torkar fortare och därmed minskar risken för substansförluster, vilka var höga för frästa okluvna stubbar i en tidigare studie (Anerud & Jirjis, 2011).

Det stora problemet för fräsen och samtidigt fördelen, är att endast stubbkärnan och en mindre del av rotbenen tas upp. Nackdelen är att ca 50 % av det presumtivt tillgängliga materialet blir kvar i marken, vilket i sig är en fördel dels för naturvården, dels för markens bärighet. Men mängden producerad ved per tidsenhet blir låg och därmed blir kostnaderna höga, vilket tydligt framgår av Figur 6 där endast stubblyftningen för *Fräsen* kostar som ca 80 % av hela systemkostnaden för normal brytning. Däremot skiljer det bara några tiotus i sönderdelningskostnad – dock till fräsens nackdel.

SKOTNINGEN

Att skotningen skulle bli dyrare för de frästa stubbarna i denna studie var delvis väntat, då skotaren inte var optimalt utrustad för att skota de något mer svårhanterade frästa stubbarna. En stor del i prestationsskillnaden som presenteras i Figur 5 förklaras av att den risgrip som användes var för liten, och inte kunde greppa de frästa stubbarna på ett bra sätt, vilket i sin tur gav låga gripvikter och därigenom gick såväl lastnings- som lossningsarbetet långsammare. Inte heller det rede som användes på maskinen var optimerat för de frästa stubbarna, vilket innebar en markant tidsökning för momenten ordna och spillfix, då stubbdelarna lätt ramlade mellan stakarna. En omkonstruktion av grip och rede skulle troligen ge en rättvisare kostnadsjämförelse, vilket skulle vara intressant för en eventuell uppföljning på denna studie.

En annan faktor som framkommit vid denna såväl som tidigare studier (Brunberg et al., 2010), (von Hofsten et al., 2012) är betydelsen av mängden material per löpmeter skotarväg, alternativt materialmängd per hektar. I denna studie uppstod väldigt stora skillnader i just detta mellan stubbskördssystemen, vilket givetvis påverkar prestationen vid skotning negativt för de frästa stubbarna, där det var lite material per löpmeter körsträcka. Resultatet blir att skotningskostnaden för frästa stubbar blir 46 % högre mot för normalbrutna stubbar, Figur 6.

En annan och kanske mer oväntad iakttagelse som gjordes under studien, var skillnaden i ”skrymdensitet”. Trots att skillnaden i genomsnittlig lastvikt bara var ett råton, var det stor skillnad i höjden på lassen, där de frästa stubbarna bara lastades till i nivå med stakarna, medan de normalbrutna kunde lastas betydligt högre. Skillnaden torde helt kunna tillskrivas det faktum att de frästa stubbarna utan rotben kan packas tätare. Förhållandet var dock inget som mättes under studien, men det är tänkbart att detta är positivt ur landsvägstransportsynpunkt om stubbdelarna skall transporteras okrossade med lastbil.

KROSSNINGEN

Prestationen i krossningsarbetet jämför sig relativt väl med andra studier av stubbkrossning även om viss försiktighet bör iakttas då vi vet från studier av flishuggar (Eliasson et al., 2011), att prestationen kan förändras kraftigt beroende på målfraktion. I någon mån begränsades också krossens prestation av att trumsikten inte riktigt hann med, något som främst drabbade krossningen av normalbrutna stubbar där det ofta blev ordentligt långa (400–500 mm) bitar som tenderade att fastna i utmatningen från trumman.

Effekten av trumsiktens arbete blev påtaglig. Räknat på torrsvikt sorterades drygt 40 % bort varav 60–80 % var icke brännbart material. Av det brännbara materialet var endast en liten del ved i form av småstickor, resten var moss, humus m.m. Den höga andelen ”rejekt”, vilken inte skilde sig nämnvärt mellan behandlingarna var oväntad, och skiljer mycket från andra studier där nivåer kring 20–30 % registrerats (von Hofsten & Granlund, 2010), (Fogdestam et al., 2012). Att de normalbrutna stubbarna var väldigt förorenade syntes tydligt i vältorna, men att de frästa stubbarna som i princip saknar rotben, skulle innehålla så mycket föroreningar var inte väntat. Visserligen kom minst tre stora stenar med i krossningen (de hördes tydligt), men även om man antar att de var i storleksordningen 100 kg styck utgör de bara 1,2 % av knappt 25 ton processat material. Även efter siktning innehöll de frästa stubbarna en visserligen låg askhalt (3,5 %) men ändå nästan dubbelt så hög som de normalbrutna. Om detta beror på slumpen eller skillnader mellan avläggen kan inte avgöras. Möjligen kan det bero på att fräsen då den går ner i marken drar in föroreningar i rotveden, se bilder under Material och metod.

Torrhalten i materialet var relativt hög jämfört med andra liknande studier (von Hofsten & Granlund, 2010; Eliasson et al., 2012; Fogdestam et al., 2012; von Hofsten et al., 2012) speciellt på de normalbrutna stubbarna. Samtidigt var torrhalten på ”rejektet” hög och skilde sig ganska lite jämfört med ”accept-materialet” särskilt för Fräsen. Den höga askhalten i ”rejektet” efter de frästa stubbarna, skulle kunna antyda att föroreningarna huvudsakligen bestod av mineraljord, som torkar fort utan att tappa så mycket i vikt, medan ”rejektet” efter de normalbrutna stubbarna till större del bestod av humusämnen (vilka torkar fort och tappar då mycket i vikt) som följt med rötterna upp, därav den något lägre askhalten.

EKONOMI

I denna studie har kostnaden för att lyfta, skota och sönderdela de stubbar som skördats med stubbfräsen varit nästan dubbelt så hög som i fallet med normalbrutna stubbar. Det är framför allt lyftningen och skotningen som dragit iväg medan sönderdelningen inte skiljer så mycket, Figur 6. Fräsens akilleshäla i detta avseende är att det tar minst lika lång tid per stubbe som för ett vanligt aggregat, men mängden vedmaterial per stubbe är betydligt lägre. I och med att vedutbytet per stubbe blir lågt, blir också mängden ved per stubbhög på hygget lågt, vilket medför att skotaren blir tvungen att köra tre gånger så långt för att samla ihop ett lass. De ganska små stubbdelarna blir också svårhanterliga och ramlar lätt ur gripen eller mellan stakarna, vilket ytterligare sänker prestationen. Tyvärr finns det inga andra studier på skotning- och sönderdelning av frästa stubbar, därmed saknas referenser att jämföra denna studies resultat med.

Till *Fräsen*s stora fördelar skall räknas det faktum att markpåverkan blir mycket liten jämfört med övriga aggregat. I princip rör det sig om ett hål ca 30 cm djupt och 70 cm i diameter, vilket torde erodera igen ganska snart. Därutöver torde markskadorna orsakade av stubblyftaren respektive skotaren vara mindre än vid normal stubblyftning då fler rötter blir kvar i marken, vilket ökar bärigheten. Detta har dock inte studerats närmare i denna studie. Frågan är om den minskade markpåverkan kan kompensera för de högre kostnaderna? I annat fall måste nog prestationen kunna höjas till det dubbla för att *Fräsen* skall kunna vara konkurrenskraftig.

Referenser

- Anerud, E. & Jirjis, R. 2011. Fuel quality of Norway spruce stumps – influence of harvesting technique and storage method. *Scandinavian Journal of Forest Research* 26(3): 257–266.
- Brunberg, T., Eliasson, L. & Lundström, H. 2010. Skotning av färsk och hyggestorkad GROT. Skogforsk. Arbetsrapport 726.
- Eliasson, E., Granlund, G., von Hofsten, H. & Björheden, R. 2012. Studie av en lastbilsmonterad kross – CBI 5800. Skogforsk. Arbetsrapport 775: 15.
- Eliasson, L., Granlund, P., Johanneson, T. & Nati, C. 2011. Prestation och bränsleförbrukning för tre flishuggar. Skogforsk. Arbetsrapport 749: 17.
- Fogdestam, N., Granlund, P. & Eliasson, L. 2012. Grovkrossning och sållning av stubbar på terminal. Skogforsk. Arbetsrapport. 768: 9.
- Marklund, L.-G. 1988. Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige. Inst. f. Skogstaxering. Rapport 45.
- von Hofsten, H. & Granlund, P. 2010. Effektivare transporter om stubbarna grovkrossa på avlägg. Skogforsk. Resultat 2: 4.
- von Hofsten, H., Johannesson, T. & Anerud, E. 2012. Effekter på stubbskördens produktivitet beroende på klippningsgraden. Skogforsk. Arbetsrapport 759.
- von Hofsten, H. & Nordén, B. 2007. Stubbfräsen – en ny och annorlunda teknik för att ta tillvara stubbar. Skogforsk. Resultat 18.

Momentindelning för studien av stubbfräsen, skotarstudien och krossningsstudien

Momentindelning – stubbfräsen

Kran ut	Kranrörelser utan material i aggregatet.
Greppa/plocka	Positionering av fräsen över en stubbe samt plockning av stubbdelar.
Fräsa	Fräsning, lösgörning av stubben.
Klipp	Klippning av stubbe.
Rensa	Rensning från föroreningar.
Stapla	Stapla upp stubbdelar på högen.
Förflyttning	Förflyttning mellan uppställningsplatser.
Övrig verktid	Annan tid som inte täcks av ovanstående.

Momentindelning – skotarstudien

Kran ut	Kranrörelser från maskin till material.
Grip	Tid för att greppa material.
Kran in	Kranrörelser från hög till lastrede.
Släpp	Tid för att placera och släppa material.
Ordna	Tid för justera material på lasset.
Spillfix	Tid för att plocka material som ramlat av lasset under transport eller lastning.
Körning under lastning	Förflyttning av maskinen under pågående lastning
Lossning	Avlastning till vält

Momentindelning – krossningsstudien

Krossning	Krossen arbetar och flis matas ut på utmatningsbandet
Väntan	Krossen går i tomme. Vanligen beroende på att kranföraren inte hinner lasta i.
Flytt mellan uppställningar	Förflyttning av kross och separatlastare längs stubbvältan
Övrig verktid	Tid som inte täcks av ovanstående moment. Vanligen bortplockning av stenar e.d. samt uppstart av utrustningen efter flytt.

Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2011

2011

- Nr 733 Rytter, L., Johansson, T. Karačić, A., Weih, M. m.fl. 2011. Orienterande studie om ett svenskt forskningsprogram för poppel. 210 s.
- Nr 734 Hannerz, M. & Fries, C. 2011. Användningen av webbtjänsterna Kunskap Direkt och Skogsskötselserien. – En enkätundersökning bland skogsbrukets fältpersonal. 48 s.
- Nr 735 Andersson, M. & Berglund, A. 2011. Test av pekskärmsmobiler. 22 s.
- Nr 736 Löfgren, B., Englund, M., Fogdestam, N., Jönsson, P., Lundström, L. & Wästerlund, I. 2011. Spårddjup och vibrationer för banddrivna skotare Lightlogg C och ProSilva. 32 s.
- Nr 737 Brunberg, T. 2011. Studie av flerträdshantering i slutavverkning med John Deere 1470D hos SCA Skog hösten 2010. 8 s.
- Nr 738 Fogdestam, N. & Lundström, H. 2011. Studier av Offset Crane Concept, OCC hos Kjellbergs Logistik & Teknik i Hällefors. 15. s.
- Nr 739 Enström, J. & Röhfors, G. 2011. Effektivare järnvägstransporter med större fordon – En förstudie. 28 s.
- Nr 740 Iwarsson Wide, M. & Fogdestam, N. 2011. Jämförande studie av olika uttagsmetoder av massaved och skogsbränsle i klen gallring. – Energived- och massavedsuttag med LOG MAX 4000B, Stora Enso Skog, Dalarna. 36 s.
- Nr 741 Brunberg, T. 2011. Uppföljning av utbildningseffekten hos maskinlag hos SCA Skog AB 2010. 8 s.
- Nr 742 Hannrup, B., Andersson, M., Bhuiyan, N., Wikgren, E., Simu, J. & Skog, J. 2011. Vinnova_Slutrapport_P34138-1_101221. – Slutrapport för projekt ”Beröringsfri diametermätning i skördare – utveckling av mätsystem och tester i produktionsmiljö”. 84 s.
- Nr 743 Åström, H. 2011. Förbättring av arbetsförhållande i skördare. Improvement of working conditions in harvester. 126 s.
- Nr 744 Cheng, C. 2011. Modellering av åkkomforten i en skotare. Modeling the Ride Comfort a Forwarder. 93 s.
- Nr 745 Jonsson, J. 2011. Dynamisk däckmodellering och markinteraktion för skogsmaskiner. Dynamic tire modeling and soil interaction regarding forestry machines. 52 s.
- Nr 746 Grönqvist, D. 2011. Konzeptutveckling av hybriddrivlina för skogsmaskiner. Concept development of a hybrid powertrain for forest machines. 180 s.
- Nr 747 Bhuiyan, N., Arlinger, J. & Möller J.J. 2011. Utveckling och utvärdering av en standardiserad metod för volymbestämning och stamräkning vid avverkning med flerträd shanterande skördaraggregat. 34 s.
- Nr 748 Brunberg, T. & Hagos Lundström. 2011. Studier av TimBear Lightlogg C i gallring hos Stora Enso Skog våren 2011. 9 s.
- Nr 749 Eliasson, L., Granlund, P., Johannesson, T. & Nati, 2011. Prestation och bränsleförbrukning för tre flishuggar. 15 s.
- Nr 750 Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Hannrup, B. & Nordström, M. m.fl. 2011. D3.5-Methods and models for relating wood properties and storage conditions to process efficiency and product quality. 67 s.

- Nr 751 Mohtashami, S. 2011. Planning forest routes for silvicultural activities using GIS based techniques – A case study of Selesjö in Östergötland, Sweden. Bättre planering av avverkning vägar med GIS. 39 p.
- Nr 752 Bergkvist, I. & Fogdestam, N. 2011. Slutrapport – Teknik och metoder vid energiuttag i korridorer. 26 s.
- Nr 753 Westlund, K., Jönsson, P., Flisberg, P. & Rönnqvist, M. 2011. Skotningsplanering – SPORRE- och GROT-sporreprojektet. 23 s.
- Nr 754 Sjöström, L. 2011. Fukthaltsmätning av skogsbränsle – Genomgång av tekniska principer och översikt av marknadsförda utrustningar. 25 s.
- Nr 755 Eliasson, L. & Lundström, H. 2011. Skotning av färsk och hyggestorkad grot variabelt lastutrymme. 10 s.
- Nr 756 Möller, J. J., Arlinger, J., Barth, A., Bhuiyan, N. & Hannrup, B. 2011. Ett system för beräkning och återföring av skördarbaserad information till skogliga register och planeringssystem. 56 s.
- Nr 757 Hannrup, B., Bhuiyan, N. & Möller, J.J. 2011. Utvärdering av ett system för beräkning och återföring av skördar baserad information till skogliga register och planeringssystem. 72 s.
- 2012**
- Nr 758 Löfroth, C. & Svenson, G. 2012. ETT – Modulsystem för skogstransporter – En trave Till (ETT) och Större Travar (ST). 151 s. ETT – Modular system for timber transport One More Stack (ETT) and Bigger Stacks (ST). p. 156.
- Nr 759 von Hofsten, H., Johannesson, T. & Aneryd, E. 2012. Effekter på stubbskördens produktivitet beroende på klipningsgraden. Impact of stump splitting on harvest productivity 22 s.
- Nr 760 Jönsson, P. & Englund, M. 2012. Air-Hawk-luftkudde. Ergonomiskt hjälpmedel för skogs- och jordbruksmaskiner. 22 s.
- Nr 761 Rosvall, O. & Lindgren, D. 2012. Inbreeding depression in seedling seed orchards. Under bearbetning.
- Nr 762 Hannrup, B. & Lundgren, C. 2012. Utvärdering av Skogforsks nya barkfunktioner för tall och gran – En uppföljande studie. 26 s.
- Nr 763 Englund, M. 2012. LED-ljus i aggregatet – En pilotstudie. 5 s.
- Nr 764 Bhuiyan, N., Arlinger J. & Möller, J.J. 2012. Kartunderlag för effektivare grotskotning genom export av shapefiler. – Map support for forwarding of logging residues through export of shape files. 22 s.
- Nr 765 Brunberg, T. & Lundström, H. 2012. Studie av flerträdshantering i slutavverkning med John Deere 1170E hos Holmen Skog vintern 2012. – Study of multiple tree handling in clear cutting with John Deere 1170E together with Holmen Skog in the winter of 2012. 7 s.
- Nr 766 Löfgren, B., Englund, M., Jönsson, P., Wästerlund, I. & Arvidsson, J. 2012. Spårdjup och marktryck för skotare med och utan band samt styrbar boggi. 15 s. – Rut depth and ground pressure for forwarder with and without tracks. 18 s.
- Nr 767 Eriksson, B. 2012. Utveckling i outsourcad skogsvård. Improving productivity and quality in out sourced silviculture 14 s.
- Nr 768 Fogdestam, N., Granlund, P. & Eliasson, L. 2012. Grovkrossning och sällning av stubb på terminal. Coarse grinding of stumps and sieving of the produced hog fuel. 9 s.

- Nr 769 Hannerz, M. 2012. Vem besöker Kunskap Direkt och vad tycker de? – Who visits Knowledge Direct (Kunskap Direkt) and what do they think of it? 38 s.
- Nr 770 Barth, A., Sonesson, J., Thor, M., Larsson, H., Engström, P., Rydell, J., Holmgren, J., Olofsson, K. & Forsman, M. Beståndsmätning med mobila sensorer i skogsbruket. – Forest measurements with mobile sensors in forestry. 32 s.
- Nr 771 Skutin, S.-G. 2012. Lönsamhet för CTI på virkesfordon. Profitability for CTI on roundwood haulage vehicles. – Cost-benefit analysis of using CTI on roundwood haulage vehicles 25 s.
- Nr 772 Sonesson, J., Mohtashami, S., Bergkvist, I., Söderman, U., Barth, A., Jönsson, P., Mörk, A., Jonmeister, T. & Thor, M. 2012. Beslutsstöd och metod för att minimera mark påverkan vid drivning. – Slutrapport från projekt ID 0910/143-10. – Decision support and methods to minimise ground impact in logging – Final report of project ID 0910/143-10. 22 s.
- Nr 773 Barth, A., Sonesson, J., Larsson, H., Engström, P., Rydell, J., Holmgren, J., Olofsson, K., Forsman, M. & Thor, M. 2012. Beståndsmätning med olika mobila sensorer i skogsbruket. – Use of mobile sensors in forestry to measure stand properties. 32 s.
- Nr 774 Brunberg, T. 2012. Studie av flerträdshantering i slutavverkning med John Deere 1270E hos SCA Skog hösten 2012 – Study of multiple tree handling in clear cutting with John Deere 1270E together with SCA Skog in the autumn of 2012. 10 s.
- Nr 775 Eliasson, L., Granlund, P., von Hofsten, H. & Björheden, R. 2012. Studie av en lastbils monterad kross-CBI 5800 – Study of a truck-mounted CBI 5800 grinder. 16 s.
- Nr 776 Eliasson, L., Granlund, P., Johannesson, T., von Hofsten, H. & Lundström, H. 2012. Flisstorleken effekt på en stor skivhuggs bränsleförbrukning och prestation – Effect of target chip size on performance, fuel consumption and chip quality for a large disc chipper. 12 s.
- Nr 777 Eliasson, L., Granlund, P., Lundström, H. 2012. Effekter på bränsleförbrukning, prestation och flisqualität av klenträd vs bränsleved som råvara vid flisning med en stor skivhugg. – Effects of raw material on performance, fuel consumption and chip quality for a large disc chipper. 12 s.
- Nr 778 Friberg, G. & Jönsson, P. 2012. Kontroll av noggrannheten av GPS-positionering hos skördare. – Measuring precision of GPS positioning on a harvester. 9 s.
- Nr 779 Bergkvist, I. & Lundström, H. 2012. Systemet ”Besten med virkeskurir” i praktisk drift – Erfarenheter och Utvecklingsmöjligheter – Slutrapport från utvecklingsprojekt i samarbete med Södra skog och Gremo. – The ‘Besten with forwarders’ unmanned logging system in practical operation – experiences and development potential. Final report from development project in collaboration with Södra skog and Gremo 25 s.
- Nr 780 Nordström, M. 2012. Validering av funktioner för beräkning av kvantitet skogsbränsle vid stubbskörd – en pilotstudie. – Validation of functions for calculating the quantity of forest fuel in stump harvest – a pilot study. 33.
- Nr 781 Fridh, L. 2012. Utvärdering portabla fukthaltsmätare – Evaluation of portable moisture meters. 28 s.
- Nr 782 Johannesson, T., Fogdestam, N., Eliasson, L. & Granlund, P. 2012. Effekter av olika inställningar av den eftersträvade flislängden på prestation och bränsleförbrukning för en Bruks 605 trumhugg. – Effects of chip-length settings on productivity and fuel consumption of a Bruks 605 drum chipper.
- Nr 783 Hofsten von, H. & Johannesson, T. 2012. Jämförande studie av två stubbrytningsaggregat, Biorex 50 och Stubbfräsen – Effekter på stubbskördssystemet från brytning till grovkrossning på avlägg. Comparative study of two stump lifting heads, Biorex 50 and the Rotary stump cutter – Effects on stump procurement system from lifting to grinding on landing. 22 s.

SKOGFORSK

– Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut

arbetar för ett lönsamt, uthålligt mångbruk av skogen. Bakom Skogforsk står skogsföretagen, skogsägareföreningarna, stiften, gods, skogsmaskinföretagare, allmänningar m.fl. som betalar årliga intressentbidrag. Hela skogsbruket bidrar dessutom till finansieringen genom en avgift på virke som avverkas i Sverige. Verksamheten finansieras vidare av staten enligt särskilt avtal och av fonder som ger projektbundet stöd.

FORSKNING OCH UTVECKLING

Två forskningsområden:

- Skogsproduktion
- Virkesförsörjning

UPPDRAG

Vi utför i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter. Det kan gälla utredningar eller anpassning av utarbetade metoder och rutiner.

KUNSKAPSFÖRMEDLING

För en effektiv spridning av resultaten används flera olika kanaler: personliga kontakter, webb och interaktiva verktyg, konferenser, media samt egen förlagsverksamhet med produktion av trycksaker och filmer.

Från Skogforsk nr. 783–2012



www.skogforsk.se