

ARBETSRAPPORT

FRÅN SKOGFORSK NR 611 2006



Uttag av biobränslen i unskog

SLUTRAPPORT 2006 FÖR PROJEKTEN P22187 OCH P22189

Isabelle Bergkvist, Skogforsk, Tomas Lundmark, SLU, Enheten för Skoglig Fältforskning, Vindeln,
Lars Rytter, Skogforsk & Magnus Thor, Skogforsk



Ämnesord: Biobränsle, ekonomi, maskinsystem ungskog.

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.

Innehåll

Sammanfattning.....	2
Summary.....	3
Inledning.....	4
Bakgrund	5
Mål.....	6
Genomförande och Resultat	6
1. Uppskattning av vedbiomassa i ungskog.....	6
P22187	6
P22189	7
2. Maskinsystem	9
Rammonterat breddavverkande aggregat	10
Kranmonterat breddavverkande aggregat	10
Kranupphängt ackumulerande aggregat	11
3. Ekonomiska beräkningar.....	11
Modellbestånd	11
Beräkningar	12
Diskussion	15
Referenser.....	17

Sammanfattning

Projektens mål har varit att undersöka a) vilka mängder biomassa som finns i tät barrblandskogar och i skogar där lövträd dominerar, b) hur stora mängder biomassa som kan tas ut som biobränslen vid olika skördeprinciper, c) i vilken grad existerande aggregat och maskiner kan användas för röjning i tät ungskog samt föreslå förbättringar och utveckling, samt d) hur ekonomin är och kan utvecklas i den inledande beståndsvården med hjälp av röjning där biobränsle tas till vara. Projektet har arbetat inom tre delområden. Inledningsvis uppskattades biomassan i ett antal stamtäta ungskogar samtidigt som tekniska tester av maskiner och aggregat genomfördes. Avslutningsvis utfördes ekonomiska beräkningar av olika maskinsystem.

Totalt inventerades 19 olika bestånd varav 2 gödslats. Den stående biomassan i ogödslade bestånd varierade från 12 till 57 ton TS ha⁻¹. Det finns flera orsaker till den stora variationen. Stamgrovlek, trädhöjd och stamtäthet skiljde sig markant åt, även om stamtäta bestånd oftast innehöll små och relativt klena träd. Graden av röjningsbehov var dock uppenbart olika för olika bestånd. En annan faktor som gör att biomassamängderna skiljde sig åt är trädslagssammansättningen. Barrträd är tyngre än lövträd vid motsvarande höjd, på grund av att diametern är grövre, samtidigt som barrskruden väger en hel del. Mätningarna utfördes efter lövfällningen, vilket är den tid som normalt rekommenderas för röjning i lövdominerade bestånd. De två gödslade bestånden innehöll mycket stora biomassamängder, ungefär 80 ton TS ha⁻¹ och röjningsbehovet var stort med ett traditionellt synsätt på skogsbruk.

Tre olika maskinsystem identifierades som praktiskt och ekonomiskt intressanta. I) Det första alternativet utgjordes av en basmaskin anpassad för skogsbruk, som utrustats med en trumma med fasta slagor som skördar i stråk. Detta breddavverkande aggregat har tidigare testats för stråkröjning, men måste kompletteras med effektivare flisning och uppsamlingsenhet för att tillvarata skogsbränsle. II) Det andra alternativet utgörs av en liten basmaskin med ett kranupphängt "slätteraggregat", där avverkningen sker i stråk med instick åt sidorna. Insticken medför att stråken kan läggas glesare med bibehållet biomassauttag jämfört med system I. Energisortimentet skotas ihop. III) Det tredje systemet bygger på ett befintligt aggregat och innebär avverkning med en liten gallringsskördare utrustad med ett kranupphängt röjaggregat med ackumuleringsfunktion. Stammarna plockas framför maskinen, ev. i sidled, och läggs i buntar efter stickvägen. Buntarna skotas ut och flisas vid bilväg.

De ekonomiska beräkningarna baserades på de inmätta ungskogarna och det antogs att 30 respektive 50 % av stående biomassa kan tas ut. Breddavverkande aggregat påverkas inte nämnvärt av stamantal såsom ett ackumulerande aggregat, vilket sålunda blir mindre konkurrenskraftigt där träden är klena och stamantalet högt. Beräkningarna visar, att om man röjer i bestånd motsvarande de inventerade bestånden, finns möjligheter till positivt netto vid uttag av skogsbränsle. Små bestånd ger höga flyttkostnader med sämre ekonomi som följd. Resultaten för breddavverkande aggregat visade, då flyttkostnader ej togs med, att den totala torrvikten i beståndet bör ligga kring 25 ton ha⁻¹ för kranupphängt aggregat och runt 10 ton ha⁻¹ för ett rammonterat aggregat för att uppnå ett positivt netto. Uttryckt på annat sätt måste ett bestånd om 10 000 stammar ha⁻¹ vara över 3,5 m i medelhöjd. För ackumulerande aggregat gav motsvarande

beräkningar, att nettot blev positivt då stamantalet låg under 25 000 ha⁻¹ och då medelhöjden var över 3 m.

Erfarenheterna från projekten visar på stora möjligheter till lönsamt uttag av biobränsle i ungskog om de biomassamängder som uppskattats i typbestånden är representativa. I vissa typer av framför allt lövskog torde stråken kunna läggas tätare och möjliggöra ett större uttag än 50 % av biomassan, vilket förbättrar ekonomin. Eftersom alternativet till en energiskörd är en kostnadskrävande manuell röjning kan även ett negativt resultat vara ett bättre ekonomiskt alternativ för markägaren. Tillvaratagande av biobränslen vid röjning i ungskog är ett sätt att öka tillgången på biobränsle och åtgärden ligger sålunda helt i linje med de strategier som nyligen dragits upp av *Kommissionen mot oljeberoende*.

Summary

The aims of the two projects were to investigate a) the amount of biomass that can be found in young dense mixed forests with conifers and in young forests dominated by broad-leaved species, b) the different possibilities to collect parts of this biomass as biofuels, c) the usefulness of existing machinery and suggestions for improvements, and d) the economy in early cleaning when biofuels are collected and possibilities for a favourable development. The project has been working in three different subject fields. Initially biomass was estimated in a number of dense young forests simultaneously with technical tests of machineries. Thereafter economic calculations of different harvest systems were performed.

In total, 19 stands were investigated, of which 2 were fertilized. The standing biomass in unfertilized stands varied between 12 and 57 tons DM ha⁻¹. There were several reasons for this variation. Stem thickness, tree height and stem density showed a large variation, although dense stands often contained small and slim trees. The need for cleaning measures was clearly different in different stands. Another factor leading to different biomass amounts was the composition of tree species. Conifers are heavier than broad-leaved species at the same height due to thicker stem diameter and the existence of needles. The measurements were carried out after leaf fall, which is normally recommended for cleaning in hardwood-dominated stands. The two fertilized stands contained large biomass amounts, around 80 tons DM ha⁻¹ and the need for cleaning was strong according to recommendations in a traditional forestry.

Three machine-systems were identified as being of practical and economical interest. I) A base machine adapted to forestry and equipped with a rotating drum with solid flails which harvests in corridors. II) A small base-machine with a crane-mounted mower device which can harvest both in corridors and sideways. The possibility to collect biomass sideways means that corridors can be placed sparser with retained biomass outtake compared to system I. III) The third system consists of a small harvester equipped with a cleaning device which can accumulate a number of harvested trees. The stems are picked in front of the machine, possibly also sideways, and laid down in bundles along the route.

The economical calculations were based on the investigated stands and it was assumed that 30% or 50% of the standing biomass could be harvested. Corridor-harvesting equipments (I and II) are insensitive to stem density in contrast to an accumulating device (III), which thus cannot compete where

stands consist of slim trees with high density. The calculations showed that cleaning in stands similar to those investigated means possibilities to a positive economic outcome if biofuels are collected. Small stands lead to high relative transport costs with less favourable economy. The results showed, excluding transport costs, that system II needed a stand biomass of about 25 tons DM ha⁻¹, and system I around 10 tons DM ha⁻¹ to reach a positive net outcome. The accumulating system (III) needed a stand density below 25 000 ha⁻¹ and a tree height above 3 m for a positive result.

The experiences from this project show that there are obvious possibilities for a profitable biofuel harvest in young forests, if the biomass amounts found here are representative. In some forest types, especially those dominated by broad-leaves species, it should be possible to reduce the distance between harvest corridors and thus take out more than 50% of the biomass. This would further enhance the economy. Because the alternative to machinery-based cleaning is a high-costing manual cleaning, even a negative net outcome could be a better solution for the forest owner than the traditional manual method. Harvest of biofuels when cleaning young forests is one way to increase the availability of biofuels, and this measure is in line with the strategies presented by *The commission for reducing the Swedish oil dependence*.

Inledning

Den här rapporten är gemensam för två olika projekt som beviljats medel från Energimyndigheten för en gemensam period, 2005-01-01 – 2006-06-30. De två projekten är:

- P22187 – Möjligheter till biobränsleuttag i unga lövskogar.
- P22189 – Uttag av röjningsvirke i intensivodlad skog.

Anledningen till en gemensam slutlig rapportering är flerfaldig. Arbetena i de båda projekten överlappar varandra till stor del, då båda behandlar uttag av röjningsbiomassa i ungskog. Samtidigt är inriktning och utförande i viss mån skiljda åt. P22187 har inriktning mot stamtäta lövdominerade skogar, framför allt i södra Sverige, medan P22189 fokuserar på stamrika barrblandskogar huvudsakligen i norra Sverige, där även ungskogsgödsling ingår som en behandling. Samrapporteringen kommer därför att innefatta fler typer av ungskog och bli mer rikstäckande. Resultat och diskussion blir bredare och innehåller en större samlad erfarenhet inom ämnesområdet. Dessutom skapas en bredare plattform för framtida gemensamma forskningssatsningar.

Bakgrund

Vid röjning av såväl barrträd som lövträd fällt stora mängder biomassa som idag lämnas kvar i skogen. Dessa skulle kunna tas ut som biobränslen och förbättra skogsbrukets ekonomi. Om ett system med ungskogsskörd kan utvecklas där kostnaden för åtgärden kan sänkas jämfört med traditionell röjning, minskar sannolikheten att åtgärden blir eftersatt och därmed skulle det s.k. röjningsberget kunna minska. Hypotesen är också att uttag av röjningsvirke endast får marginella effekter på beståndens fortsatta utveckling och nyttjande.

Genom att i ungskogsfasen i barrskog senarelägga den första utglesningen i ett bestånd förlängs perioden med hög slutenhet och hög konkurrens. Denna period med högt stamantal ger hög produktion av biomassa, samtidigt som det skapar en dimensionsutveckling av enskilda träd som lägger grunden för framtida produktion av virke med hög kvalitet. Redan i dagsläget finns stora arealer av ungskog som är väl lämpade för skörd av biomassa.

De inhemska ordinära lövträden (björk, asp och al) är intressanta för såväl biobränsle- som rundvirkesproduktion. Trädslagen uppvisar hög produktion som kulminerar vid tidig ålder, vilket kräver tidiga och kraftfulla röjningsinsatser, och de är anpassade till rådande klimatförhållanden. Under korta omloppstider producerar de stora mängder virke. Dessutom blir de nya naturligt förnygrade generationerna stamtäta och producerar mycket vedbiomassa inom några få år.

Tekniska studier visar preliminärt att det finns en potential att röja och ta ut bränslen i unga bestånd med minskad kostnad jämfört med motormanuell röjning. Studier av stråkröjning och röjning med kranspetsteknik indikerar att metoderna är snabba och effektiva, och att fördelarna gentemot motormanuell röjning är störst i stamtäta bestånd (t.ex. Eriksson & Nordén, 1999; Eriksson & Rytter, 2000; Bergkvist & Nordén, 2004; Bergkvist, 2006). Vid utveckling av teknik och metoder måste generalitet och flexibilitet beaktas, d.v.s. en entreprenör måste kunna utnyttja sin maskin under en stor del av året. Vi har därför inriktat oss på koncept som fungerar i såväl konventionell röjning som i mer specialiserad röjning i högproducerande barr- och lövträdsbestånd.

Projekten syftar till att bidra till en optimerad resursanvändning av skogens produkter för att uppnå såväl miljö- och klimatmål som ekonomiska tillväxtmål (maximera samhällsnyttan), se t.ex. Kommissionen mot oljeberoende (2006). Projekten kommer att resultera i en snabbare teknikutveckling för att lönsamt kunna tillvarata klenare stammar i ungskogar och därmed öka det möjliga avverkningsutrymmet framför allt för nya bioenergisortiment. Sammantaget kommer projekten att leda till förbättrade beslutsunderlag och ny teknik för att optimera användningen av naturresursen skog i syfte att öka skogens bidrag till välfärd i samhället på ett ekonomisk uthålligt och ekologiskt hållbart sätt.

Mål

Projektens mål var att undersöka:

- vilka mängder biomassa som finns i täta barrblandskogar och i skogar där lövträden dominerar,
- hur stora mängder biomassa som kan tas ut som biobränslen vid olika skördeprinciper,
- i vilken grad existerande aggregat och maskiner kan användas för röjning i tät ungskog samt föreslå förbättringar och utveckling,
- om och i vilken omfattning ekonomin i den inledande beståndsvården kan förbättras genom röjning med biobränsleuttag jämfört med konventionell motormanuell röjning.

Dessutom kommer de båda projekten att tillsammans kunna leverera underlag för: metodbeskrivningar för röjning vid olika beståndsförutsättningar, maskinkalkyler, bortsättningsmallar för motormanuell röjning i zonerna mellan stråk samt ange begränsningar för metoderna.

Genomförande och Resultat

Projekten kan sägas ha haft tre huvuddelar:

1. uppskattning av hur mycket biomassa som finns och kan tas ut i olika typer av ungskog,
2. tekniska tester av maskiner och aggregat för att utföra ungskogsröjning med möjlighet att ta tillvara röjningsvirket som biobränslen,
3. beräkningar av maskinsystemens ekonomiska möjligheter. En uppdelning görs därför nedan av de tre delarna. Eftersom maskinernas /aggregatens prestationer bygger på beståndsfaktorer och ekonomin bygger på både beståndsdata och maskinprestation redovisas resultaten enligt ordningen ovan.

1. UPPSKATTNING AV VEDBIOMASSA I UNGSKOG

P22187

För att uppskatta stående biomassa och de mängder som är möjliga att ta ut i form av biobränslen inventerades åtta stamtäta lövdominerade bestånd (tabell 1). Bestånden valdes både i Norrland (3 stycken) och i Götaland (5 stycken). Tio till tolv cirkelprovytor av storleken 25 m² (på en ung stamtät förstaröjning i Agunnaryd användes 15 stycken ytor à 10 m²) lades ut slumpvis i de utvalda bestånden. Samtliga levande träd över 130 cm mättes med avseende på diameter. Vart tionde träd höjdbestämdes. Höjden hos endast diametermätta träd uppskattades med hjälp av funktioner av typen:

$$H = aD^b,$$

där H=trädhöjd, D=bröstöjdsdiameter på bark och *a* och *b* är konstanter.

Dessutom togs provträd av de förekommande trädslagen för torkning och bestämning av torrsubstans. Funktioner som via diameter och höjd ger biomassan som torrsubstans togs fram för de olika bestånden och trädslagen enligt följande:

$$W = c + d(D^2H),$$

där W = torrvikt av vedbiomassa och c och d konstanter.

Ett naturligt föryngrat bestånd med hybridasp (Jordkull) som inventerades efter två års ålder stråkröjdes sedermera genom att manuellt simulera stråkröjning (Rytter, 2006). Tre olika behandlingar utfördes: 1) ingen röjning, 2) stråkröjning med 2 m breda stråk och 1 m remsor med träd (1/3 av ytan oröjd), och 3) korsröjning där behandling 2 utfördes i två riktningar vilket innebär att 1/9 av areal förblev oröjd. Detta bestånd mättes åter vid fyra års ålder (tabell 1). Alla levande träd/skott över 1,3 m höjd ingick i uppskattningen. I detta bestånd finns fyra block där tre provytor (10-25 m²) slumpades ut per behandling och block. Höjd och torrvikt bestämdes på liknande sätt som ovan.

Träddata för de nio ovan nämnda bestånden finns redovisade i tabell 2. De flesta bestånden i projekt P22187 dominerades av lövträd vad avser såväl biomassa som stamantal, vilket ju var avsikten med beståndsvälen. Ur tabell 2 framgår, att den varierande storleken på träd och de olika stamtätheterna resulterat i att den stående biomassan varierade kraftigt, från 14 till 57 ton TS ha⁻¹. I de flesta bestånd fanns dock mer än 20 ton torrsubstans. Tabell 2 avslöjar också, genom större andel av biomassa än antal träd, att barrträden i allmänhet väger betydligt mer än lövträden, räknat på individbasis. Det kan förklaras av att barrträden har grövre diameter vid jämförbar höjd samt att barrbiomassan ingår i torrsubstansvärdena. Hos lövträden ingår inte bladen då man räknar med skörd av lövträdsdominerade bestånd under vinterhalvåret. De höga siffrorna för biomassa från de nordliga breddgraderna kan innehålla en viss över-skattning av biomassan från lövträd, då en del blad fanns kvar på träden och då små träd var förhållandevis tunga jämfört med i andra bestånd.

P22189

Skogsbolag i norra Sverige kontaktades för att få tillgång till beståndskartor och uppgifter om bestånd med eftersatta röjningar. Totalt valdes 27 bestånd med varierande medelhöjd där röjningsbehovet bedömdes vara stort. Av de 27 bestånden valdes sedan 6 stycken bestånd med högt biomassainnehåll för närmare undersökningar. Dessa 6 bestånd mättes grundligare med provytestorleken 0,01 ha och 3–7 provytor, beroende på beståndsstorlek. Ytornas placering slumpades ut. Materialet insamlades genom klavning samt höjdmätning med en teleskopisk höjdmätningstav. Som ett komplement till dessa studier användes också revisionsdata från ett produktionsoptimeringsförsök i tät ungskog i norra Sverige (data från Ulvcrona et al., manuskript).

Träddata för de sex ovan nämnda bestånden och data från produktionsoptimeringsförsöken finns redovisade i tabell 2. Variationen i stående biomassa uttryckt i ton torrsvikt per hektar var stor mellan olika bestånd, som alla bedömdes vara i akut behov av ungskogsröjning. På de sex bestånd där mer noggranna uppskattningar gjordes fanns mellan 10 och 35 ton TS i stående biomassa ha⁻¹. De högsta biomassamängderna uppmättes på de ytor som erhållit upprepade gödslingar där den stående biomassan var ca 80 ton TS ha⁻¹.

Antalet stammar på de undersökta ytorna varierade mellan 4 000 och 24 000 stycken ha⁻¹. De ytor som hade de tätaste förbanden hade de klenaste stammarna och därmed den lägsta medeldiametern vid samma medelhöjd. Tätare bestånd hade även en högre lövandel.

Tabell 1.

I projekten ingående bestånd. R1 = förstaröjning och R2 = andraröjning.

Bestånd	Belägenhet			Areal (ha)	Tillstånd	Provytor Antal	Storlek (m ²)
	Latitud °N	Longitud °E	Altitud (m)				
P22187							
Agunnaryd 15	56° 43'	14° 06'	140	3,4	R1	15	10
Agunnaryd 133	56° 45'	14° 08'	140	2,7	R1	10	25
Agunnaryd 204	56° 45'	14° 07'	145	5,7	R1	10	25
Vislanda 12	56° 48'	14° 32'	150	3,0	R2	10	25
Vislanda 484	56° 47'	14° 30'	150	3,0	R2	10	25
Jordkull år 2	55° 59'	13° 02'	85	0,71	R1	36	10
Jordkull år 4	55° 59'	13° 02'	–	0,24	R1	12	10
Obbola	63° 43'	20° 19'	10	13	R1	12	25
Norrmark 1	63° 39'	19° 32'	90	19	R1	12	25
Norrmark 2	63° 39'	19° 32'	90	13	R1	12	25
P22189							
Ottonträsk 1				5	R1	5	100
Ottonträsk 2				3	R1	3	100
Sveaskog				7	R1	5	100
Hägglund				6	R1	7	100
Ostjörnvägen				5	R1	5	100
Strycksele				5	R1	5	100
Gagnet	63° 25'		125		R1	1 parcell	1 000
Gagnet gödslad	63° 25'		125		R1	1 parcell	1 000
Degerön	64° 15'		175		R1	1 parcell	1 000
Degerön gödslad	64° 15'		175		R1	1 parcell	1 000

Tabell 2.

Data över träden i projektens bestånd. Biomassan anges som torrvt. H_A = aritmetisk medelhöjd, D_G = grundytmedelstammens brösthöjdsdiameter på bark, Ps = *Pinus sylvestris* (tall), Pa = *Picea abies* (gran), Bs = *Betula ssp.* (björk), Pt = *Populus tremula* (asp), *Populus tremula* x *P. tremuloides* (hybridasp) i Jordkull, Sa = *Sorbus aucuparia* (rönn), Sc = *Salix caprea* (sälge).

Bestånd	H_A (cm)	D_G (mm)	Stammar (antal ha^{-1})	Biomassa (ton DM ha^{-1})	Andel av biomassan (%)						Andel av stamantalet (%)					
					Ps	Pa	Bs	Pt	Sa	Sc	Ps	Pa	Bs	Pt	Sa	Sc
Agunnaryd 15	238	11,2	37 400	13,7	–	8,7	90,3	0,3	–	0,7	–	1,4	96,4	0,4	–	1,8
Agunnaryd 133	323	20,0	35 200	29,2	–	28,8	71,0	0,0	0,2	–	–	8,2	90,9	0,1	0,8	–
Agunnaryd 204	255	14,8	39 800	23,9	0,2	41,9	56,6	0,0	–	1,3	0,3	7,8	88,3	0,1	–	3,5
Vislanda 12	260	20,2	21 400	20,8	0,2	47,1	52,6	0,1	–	0,1	0,6	11,9	87,1	0,2	–	0,2
Vislanda 484	278	26,8	16 800	21,2	38,7	42,1	18,9	0,0	0,1	0,2	36,8	16,4	44,9	0,2	0,2	1,4
Jordkull år 2	351	15,8	76 100	14,9	–	–	–	100	–	–	–	–	–	100	–	–
Jordkull år 4	521	25,8	55 200	38,0	–	–	–	100	–	–	–	–	–	100	–	–
Obbola	444	35,1	18 900	37,3	23,3	6,4	52,4	3,5	14,4	–	3,9	4,4	68,6	7,4	15,7	–
Norrmark 1	377	35,0	26 600	57,3	57,3	10,2	31,9	0,0	0,1	0,5	13,3	9,5	74,2	0,1	1,5	1,4
Norrmark 2	455	53,6	10 200	48,6	80,5	11,8	7,6	–	0,1	0,0	41,2	37,6	18,3	–	2,6	0,3
Ottonträsk 1	334	25,9	11 520	22,9												
Ottonträsk 2	413	33,2	12 680	46,2												
Sveaskog	526	45,6	6 133	50,9												
Hägglund	385	29,8	7 400	23,7												
Osttjärnvägen	580	52,2	3 640	28,7												
Strycksele	403	33,3	4 060	11,7												
Gagnet	414	59,0	16 278	43,5												
Gagnet gödslad	751	41,1	16 878	81,8												
Degerön	231	41,0	20 884	18,9												
Degerön gödslad	747	32,6	24 889	79,8												

2. MASKINSYSTEM

Tre olika maskinsystem har utgjort underlag för skattningen av tidsåtgång och kostnad vid tillvaratagande av skogsbränsle i täta ungskogar. Avverkningskostnaden bygger framför allt på prestationer som uppmäts i studier där röjning genomförts utan tillvaratagande av skogsbränsle. Vedertagen kostnad för skotning av ris, flisning vid bilväg samt medelkostnad för transport till industri har dessutom belastat respektive röjningsmetod, ingen hänsyn har alltså tagits till om metoden innebär flisning i beståndet eller vid bilväg. En kostnad för förordad avverkning har däremot skattats i de fall där det är uppenbart att bränslehanteringen innebär en minskad prestation. Dessutom belastas metoderna med en fast kostnad för flytt av maskiner till varje objekt. Flyttkostnaden tillkommer utöver de beräkningar som gjorts på avverkningsnetto och täckningsbidrag för tillvaratagande av skogsbränsle. Anledningen till detta är att flyttkostnaden varierar med beståndsstorlek och påverkar kalkylerna kraftigt vid små objekt, men i mindre utsträckning när objekten blir över 5 hektar. I praktisk drift kommer systemen förmodligen att påverkas av ytterligare faktorer och det är därför viktigt att fortsätta studier och/eller uppföljningar av systemen genomförs. Kalkyler har gjorts för 30 respektive 50 % uttag av den stående biomassan i beståndet.

Rammonterat breddavverkande aggregat

Systemet består av en basmaskin anpassad för skogsbruket som utrustats med en trumma med fasta slagor (tabell 3). Aggregatet flisar delvis stammarna, men måste utrustas med effektivare flisning, samt en uppsamlingsenhet, för att systemet skall fungera för tillvaratagande av skogsbränsle. Utöver avverkningsenheten ingår en skyttel för transport av flisat material ut till avlägg i systemet. Maskinen har testats i praktisk drift i ungskogsröjning utan att tillvarata skogsbränsle och prestationen för detta är väl dokumenterad (Bergkvist & Nordén, 2004; Bergkvist, 2006).

Tabell 3.

Beskrivning och bedömd prestation hos rammonterat breddavverkande aggregat.

Maskintyp	Rammonterat breddavverkande aggregat
Metod	2 m stråk med 2–4,5 m mellanzon
Prestation	30 m/min i framryckning
Maskiner i systemet	Röjmaskin med flisaggregat + skyttel
Fast kostnad flytt	2 maskiner á 1 500 kr
Fördyrad avverkning	Tömning i skytteln 4 min/lass → 6 kr/m ³ s
Timkostnad	1 000 kr/G ₁₅ -h

Kranmonterat breddavverkande aggregat

En liten basmaskin utrustas med ett kranupphängt ”slätteraggregat” (tabell 4). Systemet innebär att avverkningen sker i stråk med instick åt vardera sidan. Insticken antas ske med ca 10 m mellanrum, vilket reducerar antalet stråk och därmed även sträckan som maskinen måste köra, utan att uttagen andel av biomassan minskas. Energisortimentet samlas ihop med en skotare i samma storleksklass och flisas vid bilväg. Maskinen är, vad vi känner till, inte testad i praktisk drift. Prestationen bygger på framryckningshastigheten hos en motsvarande basmaskin anpassad till den tilltänkta metoden. Systemet är intressant, eftersom maskinerna är små och gör mycket liten påverkan i beståndet. Metoden är dessutom till viss del selektiv då insticken kan göras mellan huvudstammarna. Kostnaden i systemet blir förmodligen hög beroende på förväntad låg prestation i både avverkning och skotning på grund av små maskiner med långsam framryckning och begränsad lastvolym. Prestationer och kostnader bygger enbart på uppskattade värden.

Tabell 4.

Beskrivning och bedömd prestation hos kranupphängt breddavverkande aggregat.

Maskintyp	Kranupphängt breddavverkande aggregat
Metod	1,6 m stråk med 3,5 – 7,5 m mellanzon plus 2-sidigt instick var 10e m
Prestation	8 m/min i framryckning
Maskiner i systemet	Röjmaskin, skotare och flishugg vid bilväg
Fast kostnad flytt	3 maskiner á 1 500 kr
Fördyrad avverkning	Fördubblad skotningskostnad
Timkostnad	500 kr/G ₁₅ -h

Kranupphängt ackumulerande aggregat

Det tredje systemet bygger på ett aggregat som finns på marknaden med flera tillverkare. Systemet innebär avverkning med en liten gallringsskördare utrustad med ett kranupphängt röjaggregat med ackumuleringsfunktion (tabell 5). Stamma plockas framför maskinen i stickvägar och läggs i buntar efter stickvägskanten. Eventuellt görs även instick i mellanzonen där grövre röstammar kan plockas ut. Buntarna skotas ut med en konventionell skotare och flisas vid bilväg. Metoden gynnas av att den är flexibel, maskinen kan användas i allt från sen röjning till förstagallring och är dessutom relativt billig. Metoden passar bäst i relativt sen och grov röjning, eftersom prestationen påverkas av stamantalet.

Tabell 5.

Beskrivning och bedömd prestation hos kranupphängt ackumulerande aggregat.

Maskintyp	Kranupphängt ackumulerande aggregat
Metod	Plockar stammar i stickvägar ev. även instick
Prestation	2 000 stammar/h
Maskiner i systemet	Röjmaskin, skotare och flishugg vid bilväg
Fast kostnad flytt	3 maskiner á 1 500 kr
Fördyrad avverkning	
Timkostnad	700 kr/G ₁₅ -h

3. EKONOMISKA BERÄKNINGAR

Modellbestånd

Beräkningarna bygger på tio av de i projektet inmätta typbestånden (tabell 6) med höga stamantal (jfr. tabell 2). Bestånden är hämtade från både norra (bestånd 6–10) och södra Sverige (bestånd 1–5). Bestånd 9 och 10 är gödslade bestånd i Gagnet respektive Degerön. Avverkning har antagits ske av 30 respektive 50 % av den stående biomassan.

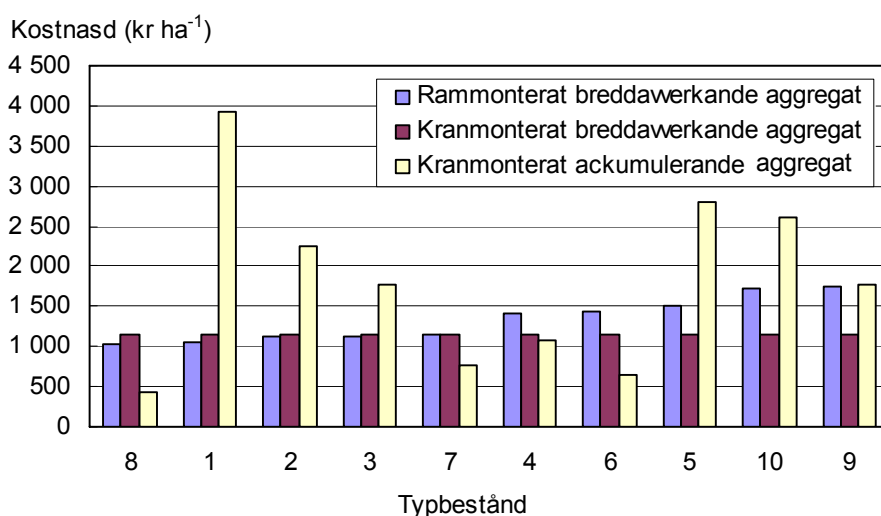
Tabell 6.

Beskrivning av typbestånd som använts vid de ekonomiska beräkningarna.

Bestånd	Diameter (cm)	Höjd (m)	Stamantal (st)	Tv (kg/ha)	Volym (m ³ s/ha)	Uttag 30 %	Uttag 50 %
1	0,8	2,3	37 373	13 692	79,61	23,88	39,80
2	1,2	2,5	21 440	20 847	121,20	36,36	60,60
3	1,7	2,5	16 840	21 178	123,13	36,94	61,56
4	4,8	4,9	10 200	48 567	282,37	84,71	141,18
5	2,7	3,9	26 567	57 285	333,05	99,92	166,53
6	4,6	5,3	6 133	50 900	295,93	88,78	147,97
7	3,0	3,9	7 400	23 700	137,79	41,34	68,90
8	3,3	4,0	4 060	11 700	68,02	20,41	34,01
9	4,1	7,5	16 878	81 800	475,59	142,68	237,79
10	3,3	7,5	24 889	79 800	463,96	139,19	231,98

Beräkningar

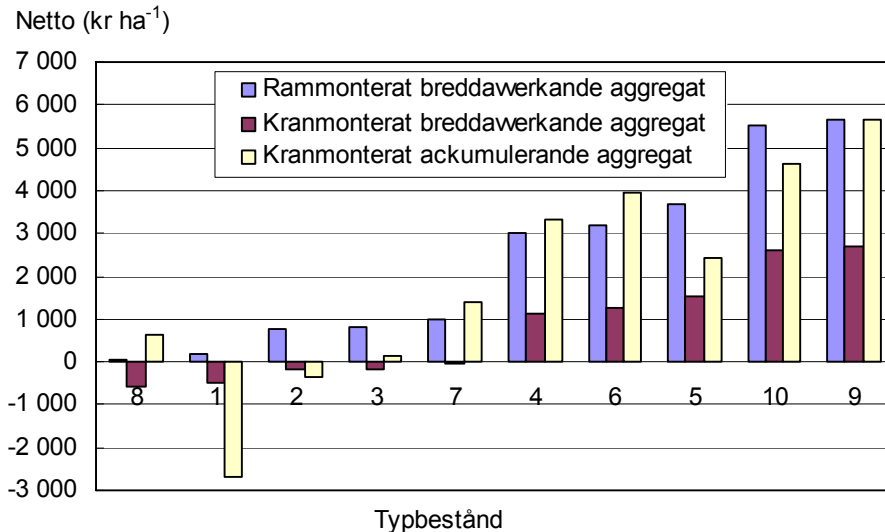
Avverkningskostnaden för de breddavverkande aggregaten påverkas inte nämnvärt av stamantalet, eftersom stammarna röjs samtidigt (figur 1). Bestånden är sorterade efter volym och maskinkostnaden per hektar för de breddavverkande maskinerna är ungefär densamma oavsett volym och stamantal. Anledningen till att det rammonterade aggregatet ändå ökar något i kostnad vid ökad volym är, att en flisuppsamlare måste tömmas fler gånger per hektar än vid lägre volymer, vilket innebär visst stillestånd och därmed lägre prestation och högre kostnad. Det ackumulerande aggregatet måste trots flerträdsfunktionen hantera varje stam eller stambukett för sig och prestationen påverkas tydligt negativt ju klenare och ju fler stammar som skall röjas bort. Att systemet påverkas av både grovlek och stamantal är även anledningen till den stora variationen i kostnad i olika bestånd. Systemet är det billigaste alternativet i bestånd 7 där träden är grova och stamantalet relativt lågt.



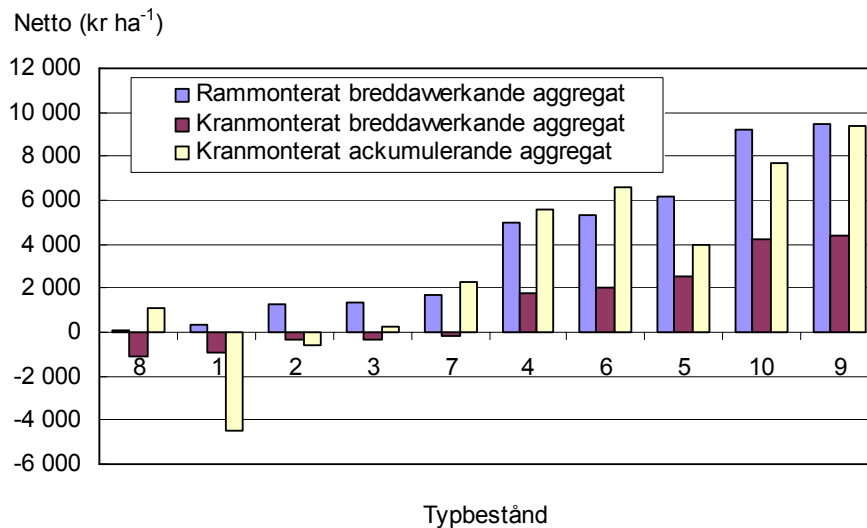
Figur 1.
Kostnad per hektar för de olika maskintyperna, typbestånd 1–8 återfinns i tabell 6.

Om man kan utnyttja bestånd med liknande höga volym som i typbestånden (tabell 6), och dessutom göra ett relativt kraftigt uttag i stråk och stickvägar, finns möjlighet till ett positivt netto vid uttag av skogsbränsle i röjning (figur 2 och 3). En fast flyttkostnad på 1 500 kr per maskin tillkommer. För systemet med rammonterat aggregat innebär detta en merkostnad på 3 000 kr per bestånd och för de båda andra systemen en merkostnad på 4 500 kr per bestånd, eftersom även en flisare måste flyttas med i de systemen. I bestånd under ett hektar ger detta ett negativt netto i alla typbestånd utom vid höga uttag i relativt grov röjning (jfr tabell 6), i större bestånd har flyttkostnaden mindre betydelse. Generellt kan man utgå ifrån att bestånden måste vara minst 5 hektar för att det skall vara lönsamt att flytta ytterligare maskiner till beståndet. I ett tvåmaskinsystem (mobil flisare och skyttel) innebär det en fast kostnad på 600 kr/ha och i ett tremaskin system (avverkning, skotning och flisning vid bilväg) 900 kr/ha.

Det ackumulerande aggregatet ger p.g.a. de höga avverkningskostnaderna ett negativt netto vid klen medelstamvolym och högt stamantal.

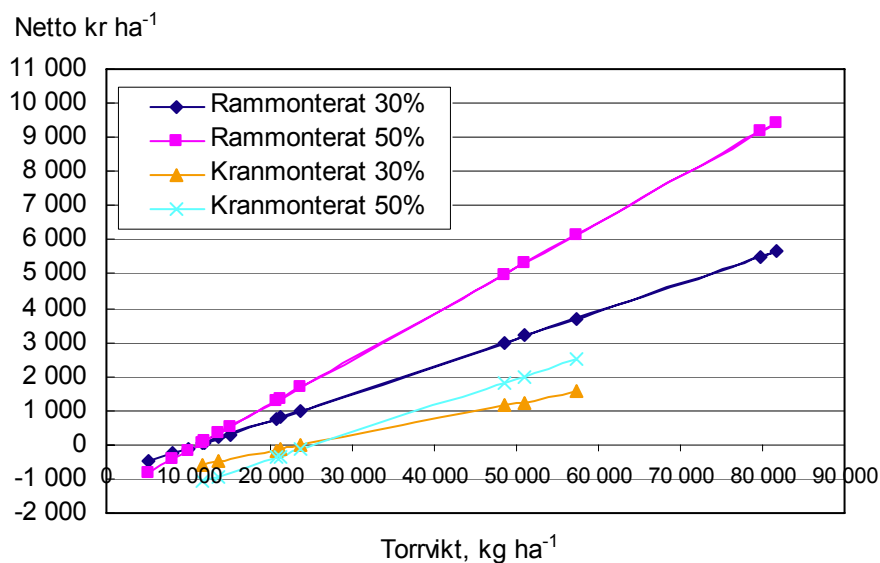


Figur 2.
Avverkningsnetto exklusive flyttkostnad vid 30 % uttag av volymen.



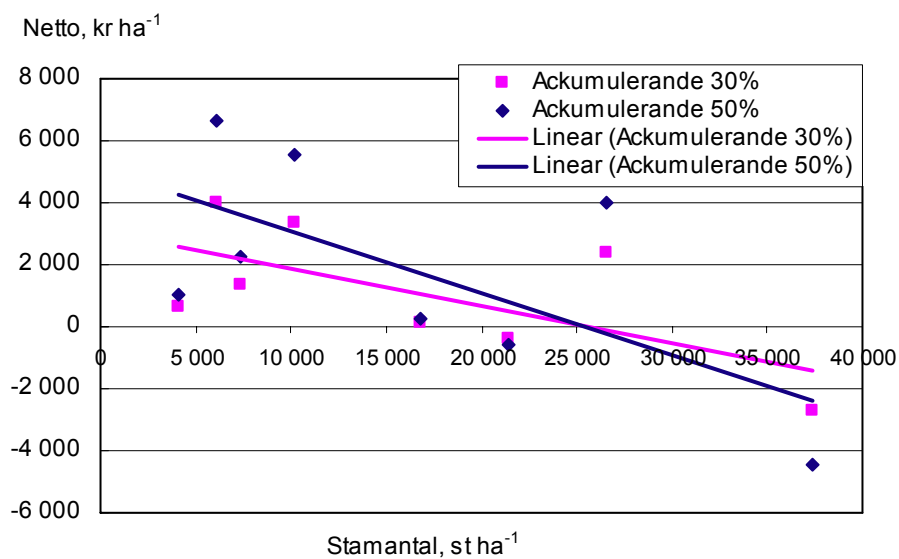
Figur 3.
Avverkningsnetto exklusive flyttkostnad vid 50 % uttag av volymen.

Lönsamheten för systemen med breddavverkande aggregat påverkas främst av vilken volym eller torrsvikt som kan tas ut. Figur 4 visar att den totala torrsvikten i beståndet bör ligga runt 25 000 kg ha⁻¹ för ett kranupphängt aggregat och runt 10 000 kg ha⁻¹ för ett rammonterat aggregat för att uppnå ett positivt netto. Det innebär i volym ca 145 respektive 60 m³ ha⁻¹, vilket ger uttag på 70 och 30 m³ ha⁻¹ vid 50 % uttag och 30 och 20 m³ ha⁻¹ vid 30 % uttag. Återigen är detta exklusive flyttkostnaden. I ett bestånd med 10 000 stammar ha⁻¹ innebär det att medelhöjden måste vara 3,5 – 5,5 m om man antar att röstammarna är dominerade av löv. Är stamantalet i beståndet 25 000 stammar ha⁻¹ kan beståndet röjas redan vid 1,5 till 3,5 m höjd.

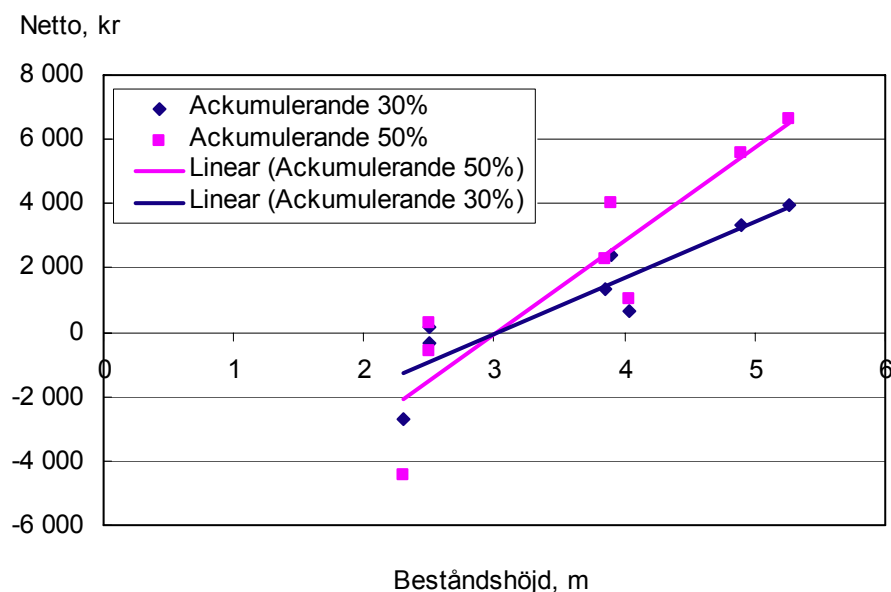


Figur 4.
Netto exklusive flyttkostnader i förhållande till total torrvikt i beståndet och olika uttag vid röjning.

Lönsamheten hos det ackumulerande aggregatet är beroende av både stamtät-
het och stammarnas enskilda volym (här mätt som höjd). Om man återigen
bortser från flyttkostnader ger systemet ett positivt netto i bestånd under
25 000 stammar per hektar och med en medelhöjd över 3 m (figur 5 och 6).



Figur 5.
Netto för ett ackumulerande aggregat vid olika stamtäthet.



Figur 6.
Netto för ett ackumulerande aggregat vid olika beståndshöjd.

Diskussion

Inmätningar av stamtäta ungskogar visar att de innehåller stora mängder biomassa och att mängden ökar med ökad trädhöjd och om bestånden gödslas (tabell 2). Även andra studier visar på betydande biomassamängder i unga bestånd (t.ex. Mattsson & de Graauw, 1996; Claesson et al., 2001). De bestånd som inventerats inom projektet visar på stående biomassamängder mellan 12 och 82 ton TS ha⁻¹.

De beräkningar som gjorts tyder på att det med någon form av strålskörd redan vid nivåer av stående biomassa på mellan 10-25 ton TS ha⁻¹ kan gå att prestera ett nollresultat med avseende på skörden. Om flyttkostnaden sätts till 1 000 kr per hektar skulle nivåerna på stående biomassa behöva ligga mellan 20 och 40 ton TS ha⁻¹. I 16 av de 20 uppmätta bestånden var den stående biomassan större än 20 ton och i 7 av bestånden var den större än 40 ton TS ha⁻¹. Det starka samband som finns mellan trädhöjd och stående biomassa för täta bestånd (>10 000 st ha⁻¹) indikerar att det vid en trädhöjd överstigande 5 m kan vara lönsamt att tillvarata ett energisortiment även när hänsyn tagits till flyttkostnader.

I detta arbete har förutsatts att skörden sker i stråk och att uttaget är 30 eller 50 % av biomassan, vilket kan vara tillämpligt i barrblandskogar. Vad gäller lövdominerade bestånd kan man tänka sig andra avverkningsmönster beroende på hur bestånden är anlagda. Hybrid Aspen i Jordkull är ett exempel där drygt 25 ton skulle kunna tas ut efter 4 år i enkla stråk. Man tar då två meter breda stråk och lämnar en meter med träd mellan stråken. Mattsson och de Graauw (1996) beräknade att av 30 ton stående torrsustans ha⁻¹ i ett tätt björkbestånd var 23 ton tillgängligt för uttag, vilket påminner om hybrid Aspen.

De ekonomiska beräkningarna baseras till stor del på data från studier och uppföljning av maskinell röjning där stammarna lämnas i beståndet. Hur tillvaratagandet av skogsbränsle påverkar systemen finns det i dagsläget inte tillräcklig kunskap om. Systemen måste utvecklas ytterligare i hur och var veden skall flisas och hur den skall transporteras till bilväg utan att skada det kvarvarande beståndet.

Bränslesystem är ofta maskinintensiva, d.v.s. de kräver fler maskiner än om virket lämnas i skogen. Maskinintensiva system innebär även ökade fasta kostnader, framför allt i ökade flyttkostnader, men även risk för väntetider på de olika maskinerna, vilket kan innebära stora kostnader i sig. Flyttkostnaden och övriga fasta kostnader är inte medräknade i kalkylerna, eftersom flyttkostnaden är beroende av beståndsstorlek, men det är viktigt att vara medveten om att fasta kostnader alltid tillkommer i systemen.

Dessutom finns exempel på studier som visat på tillväxtförluster vid helträdsuttag i yngre bestånd.

Sammantaget visar de ekonomiska beräkningarna att det finns en potential att maskinellt ta ut skogsbränsle med ett positivt netto ur täta ungskogar som hittills klassats som eftersatta bestånd med dyra röjningskostnader som följd. Eftersom alternativet till en energiskörd är den manuella röjningen, som innebär en kostnad för markägaren, kan även ett negativt resultat av skörden vara ett bättre ekonomiskt alternativ.

Efterfrågan på förnybar råvara från skog och åker ökar nu snabbt. Oljekommissionens rapport (Kommissionen mot oljeberoende, 2006) pekar ut skogsträdens produktion av biomassa som en av de viktigaste resurserna som måste nyttjas för att nå ett minskat oljeberoende. Inte minst produktion av lövträd på åkermark och mer intensiva gödslingsprogram på skogsmark bedöms kunna bidra med betydande mängder bioenergi. Detta projekt har visat att det finns en outnyttjad potential i skörd av unga skogar som hittills inte nyttjats och som snabbt kan bli tillgänglig om tekniken (kostnad) tillåter och efterfrågan (intäkt) finns. Det finns därför starka skäl att ytterligare fördjupa kunskapen om hur lövträdens produktion, framför allt på åkermark, och barrblandskogens produktion på skogsmark kan utvecklas så att mer biomassa snabbt kan bli tillgänglig för en växande bioenergimarknad.

Referenser

- Bergkvist, I. 2006. Praktisk uppföljning visar att stråkröjning har stor potential. Skogforsk, Resultat nr 2, Uppsala, 4 s.
- Bergkvist, I. & Nordén, B. 2004. Stråkröjning billigare och effektivare än selektiv röjning. Skogforsk, Resultat nr 20, Uppsala, 6 s.
- Claesson, S., Sahlén, K. & Lundmark, T. 2001. Functions for biomass estimation of young *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula* spp. from stands in northern Sweden with high stand densities. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16: 138–146.
- Eriksson, P. & Nordén, B. 1999. Bränsleuttag i bestånd med eftersatt röjning – ett alternativ till motormanuell röjning. Skogforsk, Resultat nr 7, Uppsala, 4 s.
- Eriksson, P. & Rytter, L. 2000. Bränsleuttag med drivare – ett alternativ till sen röjning i lövbestånd. Skogforsk, Resultat nr 4, Uppsala, 4 s.
- Kommissionen mot oljeberoende 2006. På väg mot ett oljefritt Sverige. Kommissionen mot oljeberoende, Stockholm, 45 s.
- Mattsson, S. & de Graauw, P. 1996. Biomassa i ett högt och tätt björkbestånd. Skogforsk, Resultat nr 9, Uppsala, 4 s.
- Rytter, L. 2006. A management regime for hybrid aspen stands combining conventional forestry techniques with early biomass harvests to exploit their rapid early growth. *Forest Ecology and Management* 236: 422–426.

Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2005

2005

- Nr 586 Hallonborg, U., Nordén, B. & Lundström, H. 2005. Ponsse Dual Buffalo i slutavverkning. 12 s.
- Nr 587 Löfroth, C., Ekstrand, M & Rådström, L. 2005. Konsekvenser för skogsnäringen av Skatt på väg (SOU 2004:63). 44 s.
- Nr 588 Bergkvist, I. & Nordén, B. Geometrisk röjning i stråk 2005. Maskinstudier av tre maskinkoncept i stråkröjning 15 s.
- Nr 589 Sikström, U. & Pettersson, f. 2005. Föryngring av gran under högskärm – avgångar i skärmen, plantförekomst och planttillväxt. 105 s.
- Nr 590 Wilhelmsson, L. 2005. Characterisation of stem, wood and fiber properties – industrial relevance. 29 s.
- Nr 591 Moberg, L., Hannrup, B. & Norell, L. 2005. Models of stem taper and cross-sectional eccentricity for Norway spruce and Scots pine. 12 s.
- Nr 592 Sonesson, J., Almqvist, C., Ericsson, T., Karlsson, B., Persson, T., Stener, L.-G. & Westin, Johan. 2005. Lägesrapport. 22 s.
- Nr 593 Erikssohn, P. & Oscarsson, M. 2005. Automatisk sortering med engreppsskördare vid slutavverkning. 92 s.
- Nr 594 Egermark, T. 2005. Kranpetsstyrning – En jämförande utvärdering av kranstyrning för skogsmaskiner utförd i simulator. 85 s.
- Nr 595 Ekstrand, M., Löfroth, C. & Andersson G. 2005. Fördjupad analys av utredningen om konsekvenser för skogsnäringen av Skatt på väg (SOU 2004:63). 47 s.
- Nr 596 Ekstrand, M. & Skutin, S.-G. 2005. Processkartläggning av transportledning och transporter – Fallstudie hos Stora Enso, Skogsåarna, VSV och Sydved. 54 s.
- Nr 597 von Hofsten, H., Lundström, H., Nordén, B. & Thor M. 2005. System för uttag av skogsbränsle – analyser av sju slutavverkningssystem och fyra gallringssystem. 34 s.
- Nr 598 Bergkvist, Isabelle. 2005. Upparbetning av stormskadad skog – Beskrivning och analys av de dominerande maskinsystemen. 15 s.
- Nr 599 Löfgren, B. 2005. Head-up-display i engreppsskördare. 70 s.
- Nr 600 Ekstrand, M. 2005. Inställning av vägvalskomponent i TVE. 40 s.
- Nr 601 Granlund, P. & Thor M. 2005. Vibrationsmätningar på drivare och skotare. 9 s.
- Nr 602 Jonsson, M. 2005. Kartläggning av dubbskador. 29 s.
- Nr 603 Almqvist C., Stener, L.G. & Karlsson, L. 2005. Skogsträdförädlingens databas Fritid – Definitioner, tabellstruktur och manualer. 54 s
- Nr 604 Sondell J. Märkning av timmer för automatisk avläsning vid sågen. 6 s.
- Nr 605 Rosenberg, O. & Högbom L. 2005. Retention av bor efter gödsling med Skog-CAN innehållande olika borformuleringar. 12 s.
- Nr 606 Nordén, B., Lundström, H. & Thor M. 2005. Kombimaskin jämfört med tvåmaskinsystem. Tidsstudier av Ponsse Dual, Ponsse Beaver och Ponsse Buffalo hos SCA Skog AB. 10 s.
- Nr 607 Granlund, P., Eliasson, T. & Alzubaidi, H. 2005. CTI – Studieresa den 7 september 2005. 15 s.
- Nr 608 von Hofsten, H. & Sondell J. 2005. Kalibrering av apteringssystem i skördare. 16 s.

2006

- Nr 609 Karlsson, B. & Lönnstedt, L. 2006. Strategiska skogsbruksval – Analys av två alternativ till trakthyggesbruk med gran. 141 s.
- Nr 610 Sonesson, J., Eriksson, I. & Pettersson, F. 2006. Beslutsunderlag för privatskogsbruk. Slutrapport. 50 s.
- Nr 611 Bergkvist, I., Lundmark, T., Rytter, L. & Thor, M. 2006. Uttag av biobränslen i ungskog – Slutrapport 2006 för projekten P22187 och P22189. 17 s.

- Nr 612 Skutin, S.-G. 2006. Virkesstyrningssystem – problem i dag och möjligheter i morgon – En intervjuundersökning inom HEUREKA Fas 1. 32 s.
- Nr 613 Jonsson, M. 2006. Spår djupsmätning efter Valmet 890 med boggieband – Magnum och Ecotrack HS. 8 s.
- Nr 614 Sonesson, J., Almqvist, C., Andersson, B., Berlin, M., Ericsson, T., Högberg, K.-A., Jansson, G., Karlsson, B., Persson, T., Rosvall, O., Stener L.-G. & Westin, J. 2006. Lägesrapport 2005-12-31 för förädlingspopulationer av tall, gran, björk och contortatall. 20 s.
- Nr 615 Ekstrand, M. 2006. CARABAS – Individual trees. 19 s.
- Nr 616 Bergkvist, I., Nordén, B. & Lundström H. 2006. Besten med två virkeskurirer – studier av prestation och bränsleförbrukning. 17 s.
- Nr 617 Sondell, J. 2006. Operation Gudrun – Vunna erfarenheter och förslag till förbättringar. 39 s.
- Nr 618 Larsson, M. & Nordén, B. 2006. Skogsbränslesystem – State of the art 2006. 16 s.
- Nr 619 Jonsson, M., Löfroth, C. & Thor M. 2006. Helkroppsvibrationer i en skotare och jordbrukstraktor uppmätta på mobil testbana – Slutredovisning av En studie föranledd av EU-direktiv 2002/44/EG och arbetsmiljöverkets föreskrift AFS 2005:15 helkroppsvibrationer i fordon. 13 s.
- Nr 620 Löfroth, C., Marcusson, H. & Jonsson, M. 2006. Standardiserad lastkontroll på virkesfordon. (Nordic Innovation Centre REF.NO:04169-JE). Slutrapport – Förslag till nordiskt certifieringssystem för kranvagnar i skoglig applikation. Typprovningt enligt följande klasser. 24 s.
- Nr 621 von Hofsten, H. 2006. Maskinell upptagning av stubbar – Möjligheter och problem. 10 s.
- Nr 622 Brunberg, T., von Hofsten, H. & Jonsson M. 2006. Studier av stålvalsar tillsammans med John Deere – Delstudie vid savning. 14 s.
- Nr 623 Brunberg, T. 2006. Bränsleförbrukning hos skördare och skotare vecka 13, 2006. 7 s.
- Nr 624 Löfroth, C. & Rådström L. 2006. Bränsleförbrukning och miljöpåverkan vid drivning och vidaretransport. 16 s.
- Nr 625 Järrendal, D. & Tinggård-Dillekås, H. 2006. Engreppsskördare med Head-Up Display. 65 s.