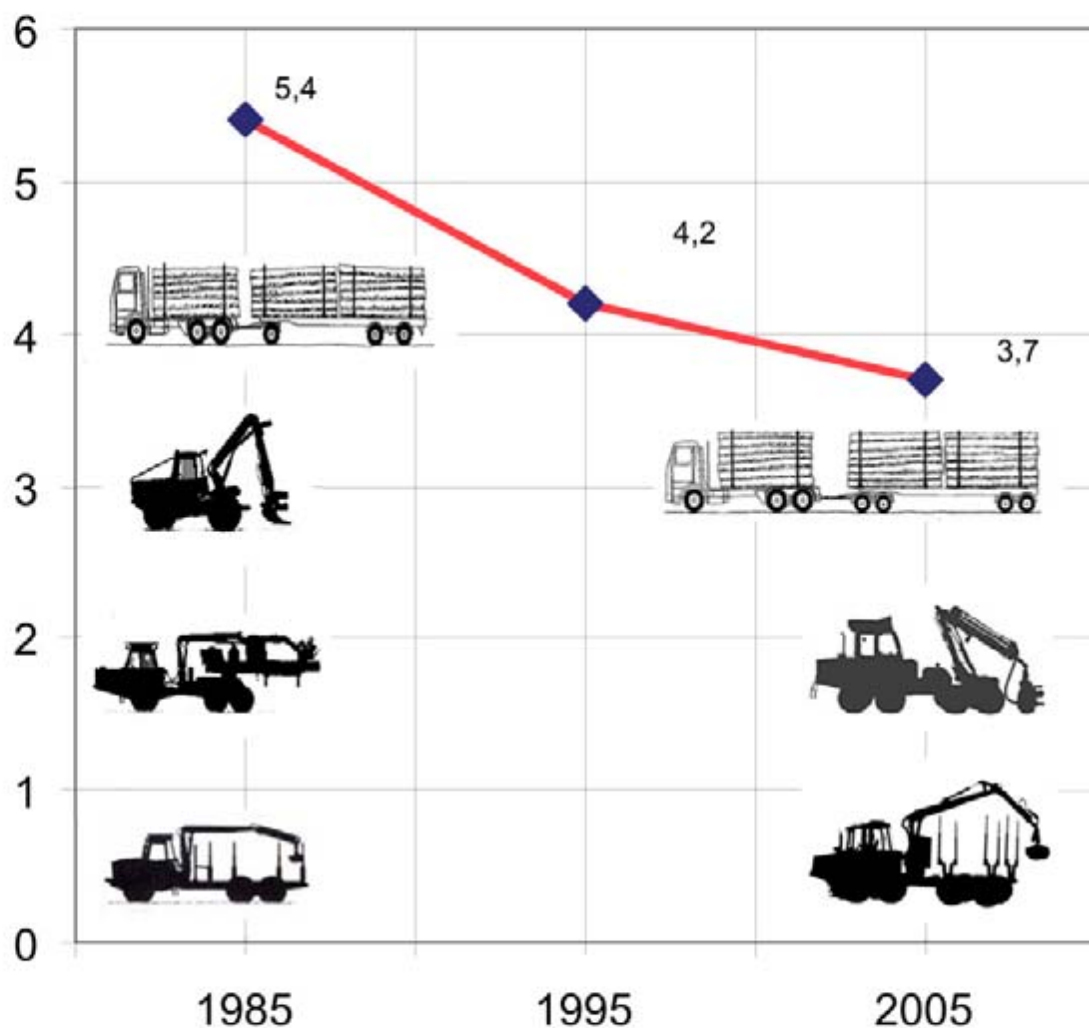


# ARBETSRAPPORT

FRÅN SKOGFORSK NR 624 2006

l/m<sup>3</sup>fub



## Bränsleförbrukning och miljöpåverkan vid drivning och vidaretransport

Claes Löfroth & Lennart Rådström

Ämnesord: Avverkningssystem, bränsleförbrukning, lastbilar, skogsmaskiner.

---

## **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

|                              |    |
|------------------------------|----|
| Inledning.....               | 2  |
| Material och metod.....      | 2  |
| Åtgärder hittills.....       | 3  |
| Drivning.....                | 3  |
| Vidaretransport.....         | 5  |
| Effekter .....               | 8  |
| Drivning.....                | 8  |
| Vidaretransport.....         | 9  |
| Framåtblick.....             | 11 |
| Drivmedel.....               | 11 |
| Drivning inom 10 år.....     | 11 |
| Drivning bortom 10 år .....  | 14 |
| Vidaretransport .....        | 15 |
| Referenser.....              | 15 |
| Personliga kommentarer ..... | 16 |

## Inledning

Under mitten av 60-talet inleddes mekaniseringen av skogsbruket på allvar. Sedan dess har utvecklingen av maskiner och fordon för drivning respektive vidaretransport gått snabbt. Detsamma gäller utvecklingen av system och arbetsmetoder. Detta har resulterat i en kraftfull produktivitetsutveckling, som i sin tur inneburit att kostnadsökningen framgångsrikt har kunnat bromsas. Skogsbruket har därmed lyckats med sin huvuduppgift, att förse svensk skogsindustri med högkvalitativa råvaror till konkurrenskraftiga priser. Under den här perioden har också bränsleförbrukningen per producerad enhet minskat. Med ett ökat fokus på miljön och med stigande drivmedelspriser har arbetet med att sänka bränsleförbrukning och emissioner intensifierats ytterligare.

I denna PM beskriver vi översiktligt hur skogsbrukets bränsleförbrukning och miljöpåverkan vid drivning och vidaretransport utvecklats. Vi har också gjort en framåtblick och en bedömning av potentiella möjligheter till ytterligare förbättringar. Arbetet har utförts med medverkan av Torbjörn Brunberg, Martin Ekstrand och Magnus Larsson.

## Material och metod

Utgångspunkten för denna PM har varit att bestämma bränsleförbrukningen per producerad enhet för åren 1985, 1995 och 2005. Analysen avser mekaniserade system i skogsbruket. En svårighet har varit att det saknas offentlig, systematiskt insamlad statistik, som skulle kunna utnyttjas för att beskriva utvecklingen under den aktuella tidsperioden. Detsamma gäller statistikinformation för enskilda företag. Den officiella statistiken över drivmedelsförbrukningen i samhället eller i olika delar av näringslivet har inte den upplösning eller den tillförlitlighet som behövs för att nå syftet i denna studie. Till exempel är det omöjligt att med utgångspunkt i dessa underlag, på ett tillfredställande sätt, relatera bränsleförbrukningen till utfört arbete. Däremot finns det uppgifter om hur drivnings- och transportarbetet förändrats (fördelning på system och metoder), vilka typer av maskiner och fordon som använts, vilken bränsleförbrukning dessa haft samt deras produktivitet ( $\text{m}^3/\text{ub}$  resp. ton per tidsenhet).

I nedanstående tabeller beskrivs med utgångspunkt i dominerande system och maskin- respektive fordonstyper hur drivning- och transporter utvecklats under perioden 1985 till 2005 (Frej & Tosterud, 1989; Nordlund, 1996; Junevik, 2005; Jonsson, 2005).

Tabell 1.  
Drivningens utveckling 1985–2005.

|                                 |             | 1985<br>Andel, % | 1995<br>Andel, % | 2005<br>Andel, % |
|---------------------------------|-------------|------------------|------------------|------------------|
| Fällare-Läggare + Processor     |             | 50               | 0                | 0                |
| Tvågreppsskördare <sup>1)</sup> |             | 50               | 55               | 0                |
| Engreppsskördare                |             |                  | 45               | 100              |
| Skotare                         | Laststorlek |                  |                  |                  |
|                                 | <10 ton     | 50               | 20               | 15               |
|                                 | 10–14 ton   | 50               | 30               | 28               |
|                                 | 14–16 ton   |                  | 50               | 32               |
|                                 | 16–19 ton   |                  |                  | 25               |

<sup>1)</sup> Här ingår både en- och tvåmotoriga skördare.

När det gäller avverkning, så har en maskin numera tagit över hela arbetet. Samtidigt har skotarnas lastkapacitet ökat.

Tabell 2.  
Transporternas utveckling.

|                        | 1985     | 1995          | 2005    |
|------------------------|----------|---------------|---------|
| Medeltransport avstånd | 8 mil    | 7,8 mil       | 9,1 mil |
| Tillåten bruttovikt    | 51,4 ton | 56 och 60 ton | 60 ton  |
| Taravikt               | 19 ton   | 20 ton        | 18 ton  |
| Lastvikt               | 32,4 ton | 38 ton        | 42 ton  |
| Lastkörningsgrad       | 50 %     | 52 %          | 56 %    |

För transporterna gäller att bruttovikt och lastvikt har ökat, liksom fordonens lastkörningsgrad.

De beräknade uppgifterna över skogsbrukets bränsleförbrukning och miljöpåverkan utgår således från dessa grundförutsättningar.

## ÅTGÄRDER HITTILLS

### Drivning

#### Metod- & teknikutveckling

Skogforsk och tidigare Skogsarbeten har allt sedan grundandet för mer än 50 år sedan arbetat med metod- och teknikutveckling inom skogsbruket. Maskintillverkarna har utvecklat nya maskiner och brukarna har tillgodogjort sig den nya tekniken. Detta har resulterat i att produktiviteten i skogsbruket ökat från ca 4 m<sup>3</sup>/dagsverke vid mekaniseringens början i mitten av 1960-talet till ca 20 m<sup>3</sup>/dagsverke i dag.

Effektivare metoder bidrar också till lägre bränsleförbrukning per producerad enhet. Exempelen på detta är många. Först kom övergången från motormanuell till mekaniserad kvistning-kapning och senare även till mekaniserad fällning. Därefter ersattes tre maskiner i kedjan från stubbe till bilväg (en fällare, en kvistare-kapare och en skotare) med två (en skördare och en skotare) och imorgon görs kanske hela jobbet av en enda maskin (drivaren). När tre bas-maskiner för drivning ersättes av två eller kanske t.o.m. enbart en maskin, minskar även bränsleförbrukningen.

Metodutveckling runt konceptet drivaren innebär en fortsättning på denna inriktning. Vidareutveckling och vardagsrationalisering av befintliga system får inte heller underskattas.

### **Modell för bränsledeklaration**

Bränsleförbrukningsmätningar är ständigt återkommande inslag i Skogforsks studier och tester. Detta har stimulerat tillverkarna att förbättra design samt trimma hydraulsystem och drivlinor. Som ett stöd för brukarna (köparna), och samtidigt en press på tillverkarna, har modeller för deklaration av skotarnas och skördarnas bränsleförbrukning baserade på standardiserade testprotokoll (Brunberg & Granlund, 2005) utvecklats inom den Tekniska Samverkans-Gruppen (TSG-rekommendation 2005-1; 2005-2). På så sätt skall maskintillverkarna kunna deklarerat jämförbar drivmedelsåtgång i sin marknadsföring, som redan sker för personbilar enligt Konsumentverkets regler. En intensifierad samverkan mellan brukare, forskare och maskintillverkare avseende bränsledeklaration kan förväntas stimulera tillverkarna till ständiga förbättringar på detta område.

### **Effektivare motorer**

Dieselmotorn i skogsmaskinerna har utvecklats parallellt med dem för vägfordon och följer de miljöregler som gäller för arbetsmaskiner. Maskintillverkarna har anpassat motorerna och hydraulsystemen till varandra, så att man kunnat minska motorns arbetsvarvtal, vilket minskar bränsleförbrukningen.

Motortillverkarna arbetar målmedvetet för att uppfylla allt hårdare miljökrav för dieselmotorer i arbetsmaskiner. Typiska utvecklingslinjer är mellankylning, högre insprutningstryck, noggrann styrning av insprutningen, flerventilteknik och avgasrecirkulation. Tillsammans med bra bränslen och efterbehandling av avgaserna når man med sådana motorer verkningsgrader nära 50 % och väsentliga minskningar av de skadliga beståndsdelarna i avgaserna. Inom detta område har Skogforsk, JTI (Jordbrukstekniska institutet), Vägverket och SMP (Svensk Maskinprovning) samarbetat i ett projekt rörande emissioner från de areella näringarna. De strängare emissionsbestämmelserna har dock medfört att motorerna måste köras på ”fetare” blandning. Detta gör att emissionerna minskar, men bränsleförbrukningen vid ett givet varvtal ökar något.

### **Effektivare hydraulsystem**

En mycket stor del av en skogsmaskins energiförbrukning går till hydraulsystemet. Tyvärr har det visat sig att dessa system har stora energiförluster. Skogforsk och tidigare Skogsarbeten har under en följd av år i olika sammanhang (bl.a. Skogforsk/Skogsarbeten testar programmet) genom avancerade

mätningar uppskattat systemens verkningsgrad. Även om denna, tack vare brukarnas krav, förbättrats under åren har vi ännu bara kommit strax under 60 % (Westman, M., 2000).

### **Minskad spårbildning**

Spårdjupsprov har genomförts löpande sedan 1978. När maskinernas hjul sjunker ner i marken skapas, förutom negativa konsekvenser för skogsproduktionen, också ett rullmotstånd som ökar energiåtgången. Flera tekniker har provats för att minska spårbildningen. I första hand har markkontaktytan ökat genom att använda fler hjul och bredare däck.

Variabelt ringtryck (CTI = Central Tyre Inflation) är ursprungligen en militär teknik som testats på vägfordon, men även på skotare. Våra försök pekar på stora möjligheter att minska spårbildningen och därmed bränsleförbrukningen (Granlund, 1999).

### **Planering**

Valet av avverkningstidpunkt har stor betydelse för spårbildning och energiförbrukning och därmed för miljöbelastningen. Den omfattande terrängkörningen som skotarna utför vid hopsamling och utkörning av alla de sortiment som skördarna lämnar efter sig i högar i beståndet, kan också planeras bättre. Skotarnas rutter (körmonster) kan optimeras till gagn för bränsleförbrukning, emissioner och markpåverkan. Tester som gjorts i samarbete med institutionen för optimeringslära vid Linköpings Universitet pekar på att körningsarbetet kan minskas med i storleksordningen 10 % (Arvidsson et al., 1999).

(Larsson, M. & Myhrman, D. 2001), (Myhrman, D. et al., 2001)

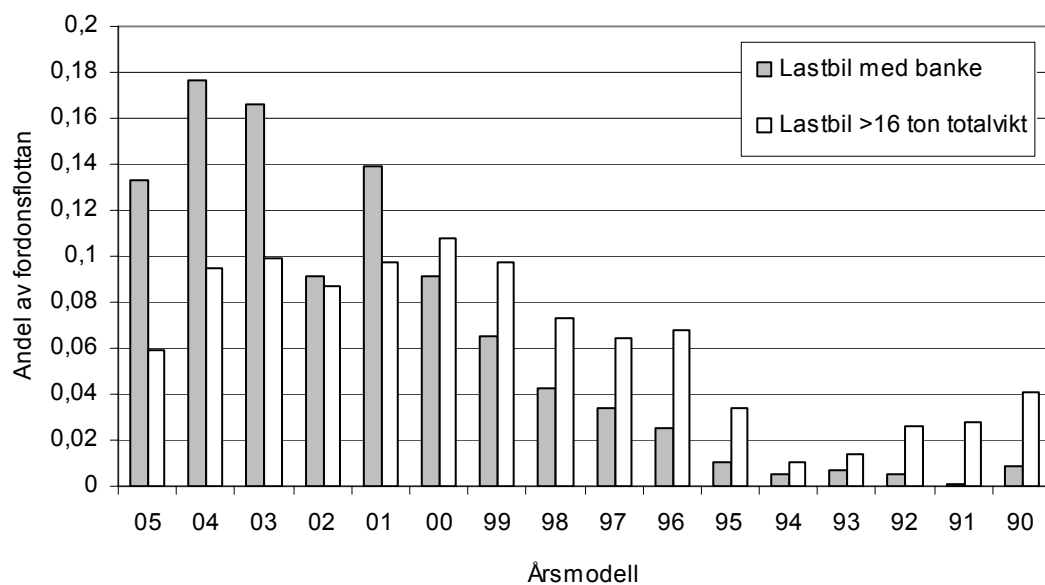
## **Vidaretransport**

### **Större och lättare fordon**

Den maximalt tillåtna bruttovikten på allmän väg har ökat från 51,4 till 60 ton. Övergången genomfördes etappvis samtidigt med att Vägverket rustade upp broarna för att klara de högre vikterna. För att klara de högre vikterna ökade även tjänstevikterna något och var i slutet av 1990-talet ca 19 ton. Skogforsk har tillsammans med branschen arbetat målmedvetet för att minska tjänstevikterna. Detta har medfört att både fordonstillverkare och påbyggare numera lägger ner betydande arbete på att använda nya och lättare material. Det senaste året har tendensen att övergå till lättare fordon blivit mycket tydlig och de modernaste fordonen väger i dag ca 2 ton mindre än i slutet på 1990-talet. Detta innebär i sin tur mer nyttolast, vilket också innebär minskad bränsleförbrukning per transporterad enhet.

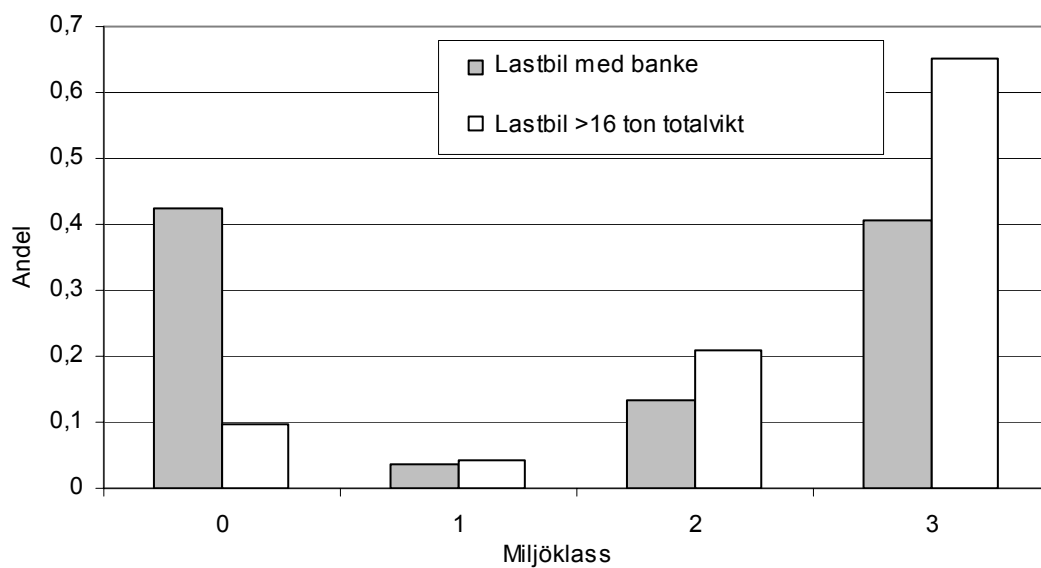
### **Miljöklassade motorer**

Fordonen som används för transport av rundvirke är moderna. Vid en jämförelse mellan inregistrerade lastbilar med banke och lastbilar med totalvikt över 16 ton syns detta tydligt (SCB, 2005). Huvuddelen av de inregistrerade fordonen med bankar används för rundvirkestransporter. En mindre andel används för transport av t.ex. stålprodukter. Av inregistrerade fordon med bankar är 80 % av årsmodell 2000 eller yngre. Motsvarande siffra för lastbilar över 16 ton är 54 %.



Figur 1.  
Skogsfordon fördelade på årsmode.

Vi konstaterar att av skogsbrukets fordon är över 80 % fem år eller yngre d.v.s. av Euroklass 3 eller bättre. Redan ett år efter det att Euroklass 3 började gälla d.v.s. 2001, uppfyllde 65 % av rundvirkesbilarna miljökraven. Detta kan jämföras med 41 % av alla lastbilar över 16 ton.



Figur 2.  
Lastbilar tyngre än 16 ton fördelade på miljöklasser år 2001.



### **Effektivare organisation**

Ett mycket effektivt sätt att spara både pengar och miljö är s.k. lägesbyten. Lägesbyten sker antingen genom att virkesorganisationen köper virke av annan virkesorganisation nära den industri som skall försörjas, eller genom att aktörerna byter volymer med varandra.

Exempel: Under 2002 köpte Mellanskog 460 00 m<sup>3</sup>fub i syfte att göra lägesbyten. Medeltransportavståndet för detta virke var 85 km. Genom att därigenom ersätta virke från egna medlemmar, som hade ett uppskattat medeltransportavstånd på 150 km, sänktes transportavståndet med 65 km. På grund av möjligheterna till ruttkörning blev besparingen 120 km per lass. För den aktuella volymen åtgick ca 11 200 lass, vilket gav en besparing på 1 344 000 km.

Virkesbytesvolym inom Mellanskogs verksamhetsområde har dock varit konstant eller minskat något den senaste 10-årsperioden, framför allt för timmer (Algotsson, pers. komm. 2005; Berggren, pers. komm. 2005). Det är sågverkens ökade specialisering på träslag och dimensioner samt fokuseringen på minskade lager som bidragit till detta.

### **Bättre planeringsverktyg**

Dagligen hanteras stora volymer virke i svensk skogsnäring, vilket ställer stora krav på robusta och effektiva planeringsverktyg i hela kedjan från skog till industri. Flera företag har genomfört stora investeringar för att effektivare kunna styra virkesflödena. Två exempel är StoraEnsos SCOOP och Sveaskogs VALS. Dessa system har olika funktioner och upplägg, men gemensamt är att de håller ordning på affärer och virke. Bättre kontroll på virkesflödet innebär bättre förutsättningar att sänka transportavstånden och analysera alternativ till lastbilstransporter. Stora investeringar har också gjorts för att t.ex. effektivisera transportplaneringen.

### **Förarutbildning**

Föraren körsätt har en tydlig påverkan på bränsleförbrukningen. Genom att fokusera på bränsleförbrukningen med hjälp av speciell instrumentering och utbildning i sparsam körning, kan förare få motivation och kunskap att sänka bränsleförbrukningen. I ett projekt (Transmit) uppnåddes en långsiktig sänkning av bränsleförbrukningen med 5–8 procent. En förbättring som för hela skogsbruket skulle motsvara ca 10 000 m<sup>3</sup> diesel eller 80 miljoner kr.

Även vägarnas standard har stor inverkan på bränsleförbrukningen. Studien visade tydligt att bra vägar ger en lägre bränsleförbrukning, vilket innebär mindre miljöbelastning (Forsberg & Löfroth, 2002).

I ett annat projekt (Reduce) installerades i två lastbilar för rundvirkestransport DV4-utrustning för omedelbar återkoppling av bränsleförbrukning och emissioner till chauffören. Allt samlades i en databas. Totalt omfattande denna ca 100 000 mils körning och ca 240 000 ton virke (Löfroth & Wåhlberg, 2004).

Trots att förarna tidigare fått utbildning i Heavy Ecodriving, och att de bedömdes hålla hög nivå beträffande bränslesnålt körsätt, sänktes bränsleförbrukningen initialt efter utbildning och installation av DV4. Likaså minskade sprid-

ningen i bränsleförbrukning mellan de olika förarna. En av bilarna hade sänkt bränsleförbrukningen med 22 % per månad på en referenssträcka (E6an).

Rapportering och återkoppling är således av största vikt för att skapa och bibehålla motivation och förståelse hos chaufförerna. Av dessa rapporter som åkeriledning (eller motsvarande) med jämna mellanrum diskuterade med fordonsförarna, framgår hur envar förare ligger till i förhållande till tidigare period, och andra förare av samma bil. Det går även att göra jämförelser med andra bilar. Onödig bränsleförbrukning specificerades på delkomponenter, exempelvis tomgångskörning, bortbromsad energi och för hög hastighet.

### **CTI på skogsbilar**

Skogforsk arbetar med ett stort implementeringsprojekt som syftar till att införa CTI (Central Tyre Inflation = variabelt ringtryck) på virkesfordon. Avsikten med projektet är att öka nyttolasten under perioder då vägarna har dålig bärighet.

Med CTI kan föraren variera däcktrycket på ett fordon. När man sänker däcktrycket ökar däckens anliggningsyta och då minskar marktrycket. Ett virkesfordon med CTI kan därför köra med fullt lass på vägar som annars skulle ha begränsad framkomlighet.

En av de positiva effekterna är att bränsleförbrukningen per ton och km minskar. Andra positiva effekter är att föraren har en bra kontroll på däckstrycket samt att det ger säkrare körning och lägre olycksfallsrisk (Granlund, 1999).

Genom att utrusta en viss andel av virkesfordonen med CTI skulle skogsbruket kunna minska transportkostnaderna. Dessutom minskar behovet av stora virkeslager inför tjällossningen.

## **EFFEKTER**

### **Drivning**

Med utgångspunkt i de förutsättningar som redovisades i tabell 1, samt uppgifter om bränsleförbrukning och prestationer för olika maskintyper har en genomsnittlig bränsleförbrukning i drivning beräknats. Av tabell 3 framgår att bränsleförbrukningen sjunkit från 2,5 l till 1,7 l per producerad enhet, eller med ca 30 %.

Tabell 3.  
Beräknad bränsleförbrukning i drivning.

|                                                     | 1985       |                         |                   | 1995       |                         |                   | 2005       |                         |                   |
|-----------------------------------------------------|------------|-------------------------|-------------------|------------|-------------------------|-------------------|------------|-------------------------|-------------------|
|                                                     | Andel      | Bränsle-<br>förbrukning | Prestation        | Andel      | Bränsle-<br>förbrukning | Prestation        | Andel      | Bränsle-<br>förbrukning | Prestation        |
|                                                     | %          | l/h                     | m <sup>3</sup> /h | %          | l/h                     | m <sup>3</sup> /h | %          | l/h                     | m <sup>3</sup> /h |
| Fällare-Läggare + Processor                         | 50         | 27,5                    | 25                | 0          |                         |                   | 0          |                         |                   |
| Tvågreppsskördare <sup>1)</sup>                     | 50         | 14,0–22,5               | 12,0–17,5         | 55         | 18                      | 11–17             | 0          |                         |                   |
| Engreppsskördare                                    |            |                         |                   | 45         | 15                      | 10–12             | 100        | 15                      | 15                |
| Skotare                                             |            |                         |                   |            |                         |                   |            |                         |                   |
| <10 ton                                             | 50         | 10                      | 8                 | 20         | 7                       | 8                 | 15         | 7                       | 10                |
| 10–14 ton                                           | 50         | 15                      | 11                | 30         | 11                      | 11                | 28         | 10                      | 12                |
| 14–16 ton                                           |            |                         |                   | 50         | 15                      | 17                | 32         | 12                      | 17                |
| 16–19 ton                                           |            |                         |                   |            |                         |                   | 25         | 15                      | 22                |
| <b>Total bränsleförbrukning, l/m<sup>3</sup>fub</b> | <b>2,5</b> |                         |                   | <b>2,2</b> |                         |                   | <b>1,7</b> |                         |                   |

<sup>1)</sup> Här ingår både en- och tvåmotoriga skördare.

## Vidaretransport

På motsvarande sätt har bränsleförbrukningen vid transport på väg beräknats. Förutom förutsättningarna i tabell 2 har uppgifter om bränsleförbrukningen för olika fordonstyper utnyttjats. Bränsleförbrukningen per transporterad enhet har minskat från 2,9 l till 2,0 l, d.v.s. med ca 30 % även i detta fall (tabell 4).

Tabell 4.  
Beräknad bränsleförbrukning vid transport på väg.

|                                               | 1985       | 1995       | 2005       |
|-----------------------------------------------|------------|------------|------------|
| Medeltransportavstånd, mil                    | 8          | 7,8        | 9,1        |
| Tillåten bruttovikt, ton                      | 51,4       | 56 och 60  | 60         |
| Taravikt, ton                                 | 19         | 20         | 18         |
| Lastvikt, ton                                 | 32,4       | 38         | 42         |
| Lastkörningsgrad, %                           | 50         | 52         | 56         |
| Bränsleförbrukning, l/mil                     | 6,5        | 6          | 5,7        |
| Bränsleförbrukning, l/ton                     | 3,2        | 2,2        | 2,2        |
| <b>Bränsleförbrukning, l/m<sup>3</sup>fub</b> | <b>2,9</b> | <b>2,0</b> | <b>2,0</b> |

## Företagsexempel VSV Frakt

VSV Frakt är en av de ledande skogstransportörerna i Sverige. Företaget som i huvudsak är verksamt i Västsverige sysselsätter över 200 fordon (VSV, 2005). Förutom rundvirkestransporter, omfattar verksamheten även flis, trädrester och maskintransporter. VSV Frakt har en omfattande miljöredovisning och följer sedan 2001 bl.a. upp drivmedelsförbrukningen för sina rundvirkesfor-

don. Vid en sammanställning av rundvirkesfordonens drivmedelsförbrukning på årsbasis, kan vi se att drivmedelsförbrukningen per tonkm minskat stadigt sedan 2001. VSV Frakts egen bedömning är att större delen av denna minskning härrör från högre lastkörningsgrad, som man under flera år arbetar med för att öka.

Tabell 5.

Drivmedelsförbrukning för VSV Frakts rundvirkesfordon åren 2001–2004, källa VSV Frakt AB.

| År   | Drivmedelsförbrukning l/tonkm |
|------|-------------------------------|
| 2001 | 0,0272                        |
| 2002 | 0,0269                        |
| 2003 | 0,0262                        |
| 2004 | 0,0258                        |

### Skogsåkarna

Skogsåkarnas uppföljning (Skogsåkarna, 2005) visar att man ökat antalet inbesparade tomkörningsmil från 240 000 år 1995 till 355 000 år 2003 tack vare bättre planering av det dagliga transportarbetet (tabell 6). Detta innebär en ökning med 48 %.

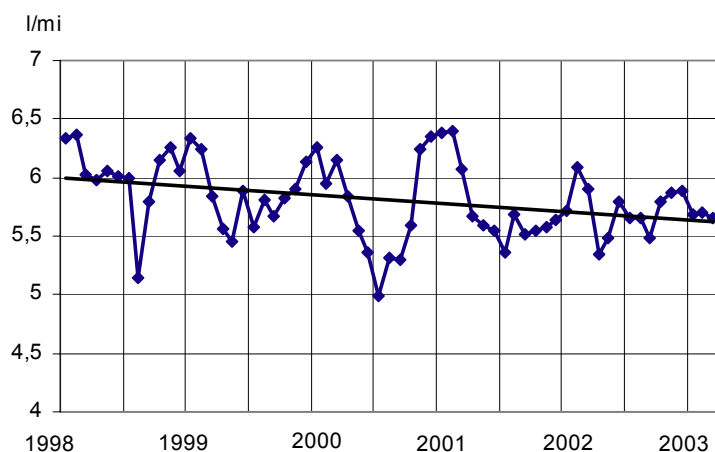
Tabell 6.

Inbesparade tomkörningsmil under perioden 1995–2003 hos Skogsåkarna.

| År   | Rundvirke | Flis    | Totalt  |
|------|-----------|---------|---------|
| 1995 | 120 000   | 120 000 | 240 000 |
| 1996 | 122 000   | 150 000 | 273 000 |
| 1997 | 159 000   | 159 000 | 318 000 |
| 1998 | 182 000   | 160 000 | 342 000 |
| 1999 | 180 000   | 138 000 | 318 000 |
| 2000 | 182 000   | 144 000 | 326 000 |
| 2001 | 178 000   | 123 000 | 301 000 |
| 2002 | 176 000   | 112 000 | 288 000 |
| 2003 | 219 000   | 136 000 | 355 000 |

### Jämtfrakt

På Jämtfrakt har man tillsammans med Skogforsk, i två Vinnovafinansierade projekt, följt upp bränsleförbrukningen vid transport av rundvirke. Projekten syftade till att minska bränsleförbrukningen med hjälp av information från motorns can-buss och utbildning i bränslesnålt körsätt (Forsberg & Löfroth, 2002; Löfroth & Wählberg, 2004).



Figur 3.  
Bränsleförbrukning för två av Jämtfrakts fordon som ingick i projektet Transmit och Reduce (månadsmedelvärden).

Figur 3 visar att bränsleförbrukningen sänktes från ca 6 l/mil till ca 5,7 l/mil tack vare ökad medvetenhet och förarutbildning.

## Framåtblick

### DRIVMEDEL

Syntetisk diesel framställd av skogsråvara, eller annan råvara som innehåller kol, kan på sikt ersätta fossila bränslen i drivning och transporter och därmed medverka till ett mer miljövänligt skogsbruk.

Skogforsk har testat ett syntetiskt bränsle (EcoPar) i ett par skogsmaskiner, både sommar och vinter. Det fungerade lika bra som vanlig diesel, och det gick inte att se några negativa effekter på bränsleförbrukning, bränslefilter, tätningar eller slangar. I provbänk var utsläppen av koloxid, kväveföreningar och kolväten lägre än för diesel, miljöklass 1 (MK1). En miljöanalys visar att bränslen gjorda på skogsråvara är bättre för miljön när man försöker värdera riskerna för klimatförändring, övergödning, försurning och marknära ozon. De priser som i dag gäller för EcoPar är i nivå med diesel MK1. Den framtida konkurrenskraften hänger på hur det syntetiska bränslet kommer att beskattas. Om det får samma skatt som diesel MK1 kanske skogsbruket redan om några år kör skogsmaskiner och lastbilar med bränsle från den svenska skogen.

### DRIVNING INOM 10 ÅR

#### Planering (optimering)

Genom att göra smartare vägval i samband med skotningen kan både pengar och miljö sparas, detta visade Skogforsk i en studie 1999 (Arvidsson et al. 1999). I studien identifieras att potentialen för minskad körning i terrängen var 10 %. Vid en uppföljande studie 2001 var potentialen att sänka körsträckan 8 %. Bedömningen är att mycket lite av denna potential ännu realiserats. För att kunna utföra optimeringen och beskriva vägvalet för skotarföraren måste säkerheten i avverkade volymers positionering förbättras och möjligheten att överföra virkets positioner trådlöst från skördare till skotaren förbättras. De senaste årens utveckling och pågående arbeten vad gäller GPS-utrustning, for-

donsdatorer i skotare och möjligheter till trådlös överföring innebär att flera av dessa svårigheter nu håller på att överbryggas.

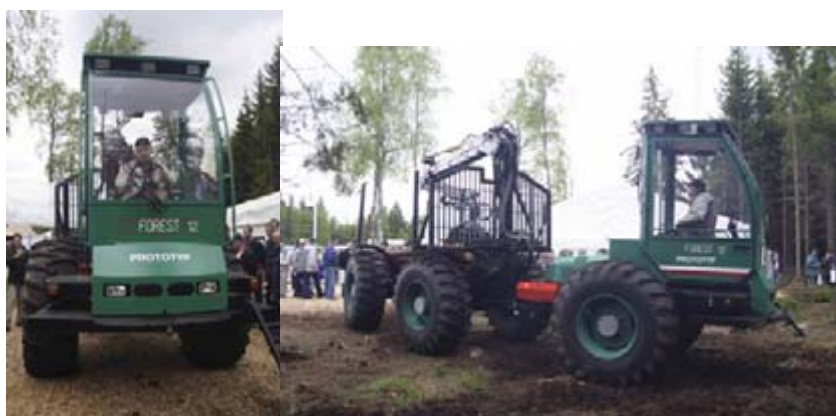
### Nya kraftsystem

Liksom för andra fordon, som utnyttjar förbränningsmotorer ser man i dag ingen tydlig väg till en helt miljövänlig teknik.

Mycket lovande är bränslecelltekniken. Den innebär att elström genereras från vätgas och syre. Restprodukten är rent vatten. Strömmen driver elmotorer som har hög verkningsgrad och som inte ger utsläpp. Det finns flera prototypfordon med bränslecelldrift.

För eldrift från batterier eller svänghjul ser man just nu ingen bra lösning för tunga fordon. För lätta fordon har tekniken använts sedan förra sekelskiftet. Den otillräckliga kapaciteten har inte förbättrats tillräckligt sedan dess.

Hybridtekniken, d.v.s. både förbränningsmotor och elmotor med batterier, finns i serietillverkning på bilar och i prototyp för tunga fordon. Som vid all förbränning får man avgasemissioner och energieffektiviteten har inte varit tillfredsställande.



Figur 4.  
Hybridskotare, prototypmaskin.

El-Forest är en prototypmaskin för terrängtransport av virke. Maskinen som väger 8 ton har en dieselmotor på 40 hk och en lastkapacitet på 12 ton (maskinen presenterades på Elmia Wood 2005). Denna driver tre generatorer som i sin tur driver elmotorer i varje hjul, totalt 6 stycken. Stora lastbilsbatterier lagrar energin. Dessa laddas av dieselmotorn och då maskinen kör i utförsbackar. El-Forest utnyttjar energin på ett betydligt bättre sätt jämfört med en konventionell skotare. Bland annat har man inte de friktionsförluster på 10–15 % som finns i vanliga skotare. Bränsleförbrukningen kan minskas till ca 4 l/h jämfört med nuvarande 8 l/h (uppgifter från tillverkaren).

### Nya drivmedel

Ser man till alternativa drivmedel finns det flera typer och kvaliteter för dieselmotorer, t.ex. etanol, metanol, rapsmetyler, dimetyler m.fl. Dessa kan alla framställas ur växtriket och är förnyelsebara. De ger dock alla mer eller mindre skadliga komponenter i avgaserna, i allmänhet dock i mindre grad än fossila bränslen. De alternativa bränslena kan när så önskas införas på skogsmaskiner. Tekniken är väl känd.

## **Effektivare hydraulik**

### *System och komponenter*

Branschen finansierar ett doktorandarbete vid Institutet för Tillämpad Hydraulik. Arbetet syftar till att finna system- och komponentlösningar som minskar energiförlusterna i hydrauliken och därmed bränsleförbrukningen i maskinerna. I första hand måste de höga förlusterna som finns så snart motorn är i gång, utan att maskinen utför något arbete, minskas. Utveckling behövs här både avseende arbetshydraulik och transmission.

### *Oljors funktion*

För att förbättra hydraulsystemets egenskaper och öka livslängden pågår f.n. ett branschfinansierat projekt vid SMP. Syftet är att säkerställa miljöanpassade oljors funktion i hydraulsystemen under krävande förhållanden och under lång tid.

### *Systemoptimering*

Skogsmaskinernas kranar och bearbetningsutrustning är relativt komplexa system, där mekanik och hydraulik måste samverka optimalt. Skogsforsks tester pekar på stora möjligheter att förbättra denna samverkan. Vid exempelvis hel- eller delautomation kan de olika kranfunktionerna optimeras, så att den energi som behövs för ett visst arbete kan minimeras.

Studier på engreppsskördare har visat att slirningen mellan matarvalsar och stam kan uppgå till ca 50 % (Hallonborg, 2005). Då frammatningen under kvistning kräver hög effekt är det angeläget att minska slirningen. En slirningskontroll av samma typ som finns på många bilar vore ett värdefullt komplement.

### *Energiåtervinning*

Arbetet i skogen innebär att redskap och gods höjs och sänks vid hanteringen. För att lyfta åtgår energi, vilken i dag förloras när man sänker. Flera försök har gjorts att hitta tekniker för att få tillbaka energin vid sänkningen, men man har hittills inte lyckats fullt ut (Löfgren & Brunberg 1997). Nya vägar måste sökas för att åstadkomma praktiskt fungerande regenerativa hydraulsystem för kranar m.m.

## **Högre lastkapacitet och -utnyttjande**

Bränsleförbrukningen för en skotare påverkas inte särskilt mycket av hur mycket last den bär (Löfgren et al. 1997). För att hålla den specifika förbrukningen ( $l/m^3$  fub) nere är det därför viktigt att den tillgängliga lastvikten (lastkapaciteten) maximeras i förhållande till den egna vikten (tjänstevikten) samt att lastkapaciteten kan utnyttjas oavsett sortiment. Försök har visat att med lämplig vågutrustning kan såväl överlast som underlast undvikas. Variabla lastutrymmen och komprimering av lätta sortiment (energisortiment) ger också högre lastutnyttjande.

### **Bättre fordonsdynamik och markkontaktorgan**

Fortsatt forskning inom fordon-markområdet avseende t.ex. det dynamiska samspelet mellan fordonet och terrängen och mellan det enskilda hjulet och markytan kan minska bränsleförbrukningen genom ytterligare minskat rullmotstånd. Gående maskiner är också ett koncept som teoretiskt sett skulle kunna minska både markpåverkan och energiåtgång.

### **Utbildning av förare**

Praktisk erfarenhet visar att bränsleförbrukningen hos skogsmaskiner i hög grad är beroende av förarens sätt att köra. Med utbildning i energisnål körteknik kan bränsleförbrukningen minskas. Exempel på detta är att undvika att olja går på överströmning eller att inte samköra funktioner med mycket olika trycknivåer. Bättre instrumentering, som exempelvis visar momentan och specifik förbrukning, kan också hjälpa föraren att köra bränsleeffektivare.

### **Skonsam markberedning**

Markberedning är ett arbete som förbrukar stora mängder energi. Vid ovarsam körning kan såväl kultur- som naturmiljö påverkas negativt. Därför behövs bättre kunskap och teknik för planering och genomförande av markberedning på ett mer skonsamt sätt. Här är ståndortsanpassning, kulturminneshänsyn och energieffektiv bearbetningsteknik nyckelord.

(Larsson, M. & Myhrman, D. 2001), (Myhrman, D. et al., 2001)

## **Drivning bortom 10 år**

På lång sikt kommer tekniska genombrott som är svåra att förutse. Följande utvecklingsscenarier är rimliga och bör studeras närmare:

**Eldrift med bränsleceller är tänkbart.** Batterier eller svänghjulslagring är sannolikt inget alternativ då det inte finns någon laddningsmöjlighet i skogen. Vätgasen kan driva en förbränningsmotor direkt, men då kvarstår problemen med de skadliga ämnena i avgaserna.

**Arbetsfunktionerna kan vara eldrivna.** Elmotorer i drivhjul, matarvalsar och för kapning av stammen är möjligt. Rätlinjiga funktioner, som i dag är hydrauliska, kan utföras el-hydrauliskt eller med någon form av linjärmotor. Teknik för allt detta finns redan i dag, men behöver anpassas till skogsbrukets krav.

**Del- och helautomatiska maskiner.** Maskiner som optimerar arbetsfunktioner och förflyttningar är ett intressant utvecklingsscenario. De helautomatiska (autonoma) maskinerna har inga förare ombord. Via kartor, orienteringssystem och ordersystem utför den självständigt ett planerat arbete, dockar med andra maskiner för transport och uppför sig som en robot. Eventuellt övervakas ett eller flera system av en centralt placerad operatör. Dessa maskiner kan byggas lättare, delvis beroende på avsaknaden av hytt, och blir därmed också mindre energikrävande. Vidare kan de med hjälp av avancerade sensorer orientera sig fram över terrängavsnitt med bästa bärighet, vilket minskar spårbildning och därmed även energiåtgång.

(Larsson, M. & Myhrman, D. 2001), (Myhrman, D. et al., 2001)



## VIDARETRANSPORT

### Bättre väginformation och planeringsverktyg

Skogsnäringen har varit drivande i utvecklingen av den Nationella VägDataBasen (NVDB). NVDB är en förutsättning för att kunna utveckla moderna transportplaneringsverktyg för skogsnäringen och samhället i övrigt. Genom utvecklingen av olika transportplaneringsverktyg kan transportarbetet effektiviseras. Virkesflöden kan optimeras och flyttas över till järnväg, där så är lämpligt, samt styras mer effektivt. Vidare kan andelen lastkörning öka och felkörningen minska, samtidigt som trafiken styrs till de vägar som är bäst lämpade.

Detta är ett område som Skogforsk i dag arbetar intensivt inom. Skogforsk har redan i dag verktyg som testas i samarbete med skogsföretag och transportörer:

- **FlowOpt** är ett verktyg för strategisk analys och optimering av virkesflöden. Flera analyser har gjorts som visar på stora potentialer i insparade körsträckor.
- **RuttOpt** är ett verktyg för daglig planering av hela fordonsflottor. De första praktiska testerna visar på mycket intressanta resultat.

### Större fordon

Ett sätt att minska bränsleförbrukningen och miljöpåverkan per transporterad enhet är att öka lastvikten. Med den i dag tillåtna fordonslängden (25,25 m) och dragbil med semitrailer, vore det möjligt att lasta på ytterligare en virkestrave. Detta skulle innebära ytterligare ca 15 ton. Bruttovikten blir då ca 80 ton jämfört med dagens maximala 60 ton. För att inte öka belastningen på vägarna krävs nämligen ytterligare en eller två hjulaxlar. Miljöbelastningen och bränsleförbrukningen skulle i så fall kunna minska med drygt 20 % per transporterad enhet.

## Referenser

- Arvidsson, P.-Å., Erikson, P., Eriksson, I., Rönqvist, M., Westerlund, A. & Igeklint, P. 1999. Smartare vägval i skotning – bra för både ekonomi och miljö, Skogforsk, Resultat, Nr 22, 1999.
- Brunberg, T., m.fl. 2005. Standardiserad bränslemätning för skotare och skördare, Resultat Nr 10. Skogforsk.
- Forsberg, M. & Löfroth, C. 2002. Resultat Nr 18, Transmit. Skogforsk.
- Forsberg, M. 2001. Skotningsplanering. Arbetsrapport, Nr 486. Skogforsk
- Frej, J. & Tosterud, A. 1989. Det storskaliga skogsbrukets system och metoder – Drivning, skogsvård och vägar 1987–1992. Redogörelse Nr 6. Stiftelsen Skogsarbeten.
- Granlund, P. 1999. Bra affärer med CTI på virkesbilar. Resultat Nr 4. Skogforsk.
- Hallonborg, U., m.fl. 2005. Dragkraft och virkesskador med fyra typer av matarvalsar.
- Larsson, M. & Myhrman, D. 2001. FoU för minskad miljöpåverkan av skogsbrukets arbetsmaskiner – nuäge och förslag till framtida FoU-insatser. Skogforsk, Stencil 2001-03-02.

Löfgren, B. & Brunberg, T. 1997. Bränslebesparingsåtgärder på kranar.

Löfgren, B., Berg, S. 2003. Resultat Nr 15. Syntetiskt bränsle. Skogforsk.

Löfgren, B., m.fl. 1999. Skotartest 98. Resultat Nr 2, Skogforsk.

Löfroth, C. & Wåhlberg af, A. Resultat, Nr 16, 2004. Bränslesnål körning. Skogforsk.

Myhrman, D., Norén, O. & Larsson, M. 2001. FoU för minskad bränsleförbrukning och miljöpåverkan av jord- och skogsbrukets maskiner. Skogforsk.  
Stencil 2001-03-09.

Nordlund, S. 1996. Drivningsteknik och metodutveckling i storskogsbruket. Resultat Nr 4.  
4 s. Skogforsk.

SCB Statistik över inregistrerade lastbilar, 2005.

Skogsåkarnas hemsida, [www.skogsakarna.se](http://www.skogsakarna.se), 2005-06-07.

TSG-rekommendation 2005-1, 2005-2. Skogforsk.

Westman, M. 2000. ITH – Energiförbrukning i hydraulsystem på engresppsskördare.

VSV Frakts hemsida, [www.vsv.se](http://www.vsv.se) 2005-06-08.

## Personliga kommentarer

Algotsson, B. Mellanskog, 2005-06-01.

Berggren, A. Mellanskog, 2005-06-01.

Carlsson, T. Skogsåkarna 2005-06 -02.

Edsvik, L. Jämtfrakt 2005-06 -02.

Jonsson, B. Komatsu Forest. 2005-10.

Junevik, G. John Deere 2005-10.

Persson, D. Scania Sverige AB. 2005-10.

Petersson, J. Södra skogsägarna 2005-06-07.

Sundberg, P. VSV 2005-06-03.

Sundling, F. Sundlings Skogsservice AB 2005-10.

## 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 Nordlund, S. Planteringsförsök. – Jämförelse av olika planttyper med avseende på tillväxt och stabilitet efter nio vegetationsperioder. (under arbete)
- Nr 611 Nordlund, S. 2005. Planteringsförsök – En studie av fyra planttyper i olika storlekar med avseende på överlevnad och tillväxt efter sex vegetationsperioder. (under arbete)

- 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.