

Energimyndigheten (P10945)

Slutrapport av projekt

# Integrerad skörd av GROT och gagnvirke

– en systemanalys

Dan Glöde



**Omslag:** Framtida system för integrerad skörd. **Illustratör:** Anna Marconi  
**Ämnesord:** Skogsbränsle, GROT-buntar, Integrerad skörd.

---

**SkogForsk – Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut**

SkogForsk arbetar för ett långsiktigt, lönsamt skogsbruk på ekologisk grund. Bakom SkogForsk står skogsbolag, skogsägareföreningar, stift, gods, allmänningar, plantskolor, SkogsMaskinFöretagarna 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.

SkogForsk arbetar med forskning och utveckling med fokus på fyra centrala frågeställningar: Produktvärde och produktionseffektivitet, Miljöanpassat skogsbruk, Nya organisationsstrukturer samt Skogsodlingsmaterial. På de områden där SkogForsk har särskild kompetens utförs även i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter.

---

Serien **Arbetsrapport** dokumenterar långliggande försök samt inventeringar, studier m.m. och distribueras enbart efter särskild beställning.

Forsknings- och försöksresultat från SkogForsk publiceras i följande serier:

**SkogForsk-Nytt:** Nyheter, sammanfattningar, översikter.

**Resultat:** Slutsatser och rekommendationer i lättillgänglig form.

**Redogörelse:** Utförlig redovisning av genomfört forskningsarbete.

**Report:** Vetenskapligt inriktad serie (på engelska).

**Handledningar:** Anvisningar för hur olika arbeten lämpligen utförs.

---

# Innehåll

|                        |    |
|------------------------|----|
| Sammanfattning.....    | 3  |
| Bakgrund och mål ..... | 4  |
| Genomförande .....     | 7  |
| Resultat .....         | 8  |
| Diskussion .....       | 10 |
| Slutsatser.....        | 14 |
| Referenser.....        | 14 |

## Genererande Arbetsrapporter

|                |    |
|----------------|----|
| Rapport 1..... | 17 |
| Rapport 2..... | 17 |
| Rapport 3..... | 17 |
| Rapport 4..... | 17 |
| Rapport 5..... | 17 |



## Sammanfattning

Projekt Integrerad skörd av GROT (grenar och toppar) pågick från 1998 till 2000 och finansierades av Energimyndigheten. För att driva utvecklingen mot effektivare och billigare systemlösningar för skörd av GROT efter slutavverkning, beskrevs ett nytt framtida maskinkoncept, den s.k. GROT & gagnvirkes-skördaren, som samtidigt skördar GROT och gagnvirke. Det miljömässiga och ekonomiska utrymmet för det framtida systemet integrerad skörd jämfördes sedan med: (i) det i södra och mellersta Sverige volymmässigt dominerande systemet med bränsleanpassad avverkning, skotning till välta, flisning vid avlägg och vidaretransport med containerbil (flissystemet); (ii) det mer framtidsinriktade systemet med bränsleanpassad avverkning, buntning på hygget, skotning till avlägg och vidaretransport med rundvirkesbil (buntsystemet). Tanken med integrerad skörd är att GROT-buntarna produceras av engreppsskördaren vid ordinarie avverkningstillfälle. Till exempel genom kvistning ovanför ett komprimeringsaggregat på eller i anslutning till skördaren, som sedan oberoende av avverkningsarbetet producerar GROT-buntar. Buntarna matas ut automatiskt och skotas tillsammans med rundvirket till avlägg samt körs till industri med konventionella rundvirkesfordon.

Projektets hypotes var kostnaden för flisat skogsbränsle kan sänkas vid slutförbrukare genom att kvistarna fångas upp innan de faller till marken, vilket sparar hanteringstid och genom att två maskiner (flisare eller buntskördare och efterföljande skyttel eller skotare) kan ersättas med en maskin, vilket sparar maskin-, arbetskraft- och flyttkostnader och genom att storskalig sönderdelning nyttjas vid industri. Dessutom att detta kan ske utan allvarliga miljöeffekter under förutsättning att näringsförlusterna kompenseras med gödsling av aska och ev. kväve. Slutsatserna blev som följer:

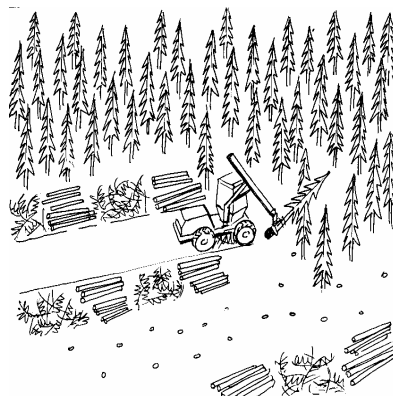
- Kostnaden för flisat skogsbränsle vid slutförbrukare kan sänkas jämfört med dagens dominerande flissystem genom utvecklande och införande av system integrerad skörd.
- Vid en kostnadsökning på 300–400 kr/G<sub>15</sub>-h, utan påverkan på skördarens prestation, kan systemkostnaden sänkas med 4 till 20 kr/m<sup>3</sup>s jämfört med buntsystemet, motsvarande en bränslekostnad fritt industri på 69,7 till 85,7 kr/m<sup>3</sup>s eller en sänkning på 22 till 36 % per m<sup>3</sup>s jämfört med flissystemet.
- En kostnad för ett komprimeringsaggregatet på 1 till 1,5 miljoner kr är inte realistisk, även om skördarens prestation sänks med 8 till 18 %.
- Om 20–25 % av volymen (m<sup>3</sup>s) trädrester lämnas kvar på hygget jämställs näringsuttaget vid det integrerade systemet med andra i dag befintliga system för skörd av trädrester. Då lämnas trädrester i alla fraktionsstorlekar jämfört med i huvudsak barr i befintliga system.

- System integrerad skörd kommer att ge ett bränsle (grön GROT) med högre fukthalt, högre andel finfraktion, men som är homogener och friare från föroreningar i form av grus och sten än vanligt (brunt) skogsbränsle.
- Gröna buntar har på grund av högre fukthalt ett lägre värmevärde per m<sup>3</sup>s än bruna buntar. Men den totala mängden energi som tas ut från ett bestånd, räknat från avverkningstillfället till leverans vid industri, kan vara lika stor eller större i gröna buntar p.g.a. substansförlusterna vid lagringen.
- Ett koncept som GROT och gagnvirkeskördaren kan vara lättare att anpassa till en tvågreppsskördare än en engreppsskördare.
- Från skoglig produktionssynpunkt är det bättre att lämna barr och finkvistar än att kompensationsgödsla med aska. Men teknik för detta finns inte i dag och det är osäkert om man kan utveckla sådan teknik och metod till rimliga kostnader.

## Bakgrund och mål

Projekt Integrerad skörd av GROT (grenar och toppar) och gagnvirke drevs under två år och finansierades av Energimyndigheten. Projektet initierades för att undersöka möjligheterna och stimulera utvecklingen mot att sänka systemkostnaderna för skogsbränsle genom att integrera produktion av komprimerade GROT-buntar med ordinarie avverkning. Förhoppningen är att en belysning av det tekniska, miljömässiga och ekonomiska utrymmet för integrerad skörd av GROT och gagnvirke skall stimulera och initiera utvecklingen av morgondagens skogsbränslesystem.

Det idag dominerande skogsbränslesortimentet som eldas i värmeverk och kraftvärmeverk är grenar och toppar (GROT) insamlade vid slutavverkning (Anon. 1997). Avverkningen anpassas så att GROT kan tas ut på ett effektivt sätt. Anpassningen innebär att skördarföraren, där markförhållandena tillåter, undviker att köra på trädresterna och lägger upp arbetet så att dessa samlas i högar invid körstråket (Figur 1).



*Figur 1.  
Arbetsmönster vid anpassad  
avverkning (Brunberg m.fl. 1998).*

Trädresterna flisas sedan på alternativt vid hygget eller transporteras i bulkfordon direkt till förbrukare eller terminal för sönderdelning. Brunberg m.fl. (1998) bedömer att GROT tas ut på nästan en tredjedel av den årliga slutavverkningsarealen i landet. Filipsson (1998) redovisar att av det totala antalet hyggen i slutavverkning skördas GROT på 56 % i södra, 11 % i mellersta och 5 % i norra Sverige. Vidare att ungefär 72 % av den totala volymen GROT som togs om hand efter slutavverkning skördades i södra Sverige (3 164 GWh).

Komprimering av GROT fick ett teknikgenombrott i och med att Bala Press AB tillsammans med Trädenergi Väst AB utvecklade en mobil enhet för komprimering av GROT till ”rundbalar”. Balarna möjliggjorde effektiviseringar i kedjan från skog till förbrukare (Andersson & Nordén 1996). Brunberg m.fl. (1998) jämförde balarna med två konventionella system för uttag av GROT efter slutavverkning (tabell 1).

Tabell 1.  
System i slutavverkning. (Brunberg m.fl. 1998).

| Flis             | Trädrester                | Balar                     |
|------------------|---------------------------|---------------------------|
| Engreppsskördare | Engreppsskördare          | Engreppsskördare          |
| Skotare          | Skotare                   | Skotare                   |
| Trädrestskotare  | Trädrestskotare           | Balare                    |
| Flisare avlägg   | Trädrestfordon            | Balskotare                |
| Containerfordon  | Flisare förbrukningsplats | Styckegodsfordon          |
|                  |                           | Flisare förbrukningsplats |

Slutsatsen blev att den totala kostnaden var högst i systemet Flis med sönderdelning vid avlägg och vidaretransport med containerfordon 98–108 kr per m<sup>3</sup>s, jämfört med systemen Trädrester och Balar som kostade 90–100 respektive 91–101 kr per m<sup>3</sup>s (fritt industri 60 km trp. avst.).

Men balarna passar genom sin form dåligt in i de terräng- och vägtransport-system som används i skogsbruket. Under 1998 introducerade företagen Woodpack AB och Fiberpac AB två olika aggregat för komprimering av GROT till stockliknande buntar (Rapport 3). I bägge fallen används skotare som basmaskin och skapas ca 3 m långa buntar med diametern 0,7 m som hålls ihop genom att ett snöre viras runt dem. Buntarna terrängtransporteras med skotare och vidaretransporteras med rundvirkesfordon.

Uttag av GROT innebär att näringsuttaget blir avsevärt större än vid skörd av enbart rundvirket, i många fall större än vad som tillförs genom vittring och atmosfäriskt nedfall (Warfinge & Sverdrup 1992, Olsson m.fl. 1993). Ett skogsbränsleuttag kan minska skogens tillväxt med 5 till 10 % (Egnell m. fl. 1998). Hittillsvarande försöksresultat antyder dock att tillväxtnedläggningarna är successivt övergående under de första 10–15 åren, möjligen med ett mer utdraget förlopp på svagare marker. Försöksresultaten grundar sig dock på

referensytor där riset är jämnt spritt över ytan, vilket var relevant vid motor-manuell avverkning på 1970-talet. I dag är dock riset koncentrerat till körsstråken, vilket kan innebära att de faktiska tillväxtförlusterna p.g.a. skogsbränsle-uttag, i jämförelse med konventionell avverkning, är mindre än vad forskningsresultaten antyder.

Trots dessa förbehåll kan en förutsättning för att skogsbränsle skall vara en förnyelsebar energikälla och för ett långsiktigt uthålligt skogsbruk vara att förlusterna av näringsämnen på något sätt kompenseras. Som lämpligt gödselmedel framhålls oftast vedaska, som innehåller alla borttagna närings- och spårämnen utom kväve (N). Askkan motverkar också försurningen p.g.a. surt nedfall och den försurning som skörd av hela träd åstadkommer.

Lönsamheten är låg i produktionsledet och intäkterna som markägaren får är relativt små (Brunberg m.fl. 1998). Om antalet förbrukare av skogsbränsle skall kunna öka samtidigt som bränslet skall bära kostnaden för den askåterföring som rekommenderas av Skogsstyrelsen (Anon. 1999), måste skogsbränslesystemet effektiviseras och utvecklas.

Analysen undersöker om det finns ett ekonomiskt utrymme för det tänkta systemet integrerad skörd jämfört med: (i) det i södra och mellersta Sverige volymmässigt dominerande systemet med bränsleanpassad avverkning, skotning till välta, flisning vid avlägg och vidaretransport med containerbil (flis-systemet); (ii) det mer framtidsinriktade systemet med bränsleanpassad avverkning, buntning på hygget, skotning till avlägg och vidaretransport med rundvirkesbil (buntsystemet). Tanken med integrerad skörd är att GROT-buntarna produceras av engreppsskördaren vid ordinarie avverkningstillfälle. Till exempel genom kvistning ovanför en tratt på ett komprimeringsaggregat, monterat på eller i anslutning till skördaren, som sedan oberoende av avverkningsarbetet producerar GROT-buntar. GROT kan på så sätt tas tillvara på varje eller valda träd beroende på t.ex. miljökrav och komprimeringsaggregatets prestanda. Buntarna matas ut automatiskt och skotas tillsammans med rundvirket till avlägg samt körs till industri med konventionella rundvirkesfordon.

Projektets övergripande mål har varit att testa följande hypotes: kostnaden för flisat skogsbränsle kan sänkas vid slutförbrukare genom att kvistarna fångas upp innan de faller till marken, vilket sparar hanteringstid och genom att två maskiner (flisare eller buntskördare och efterföljande skyttel eller skotare) kan ersättas med en maskin, vilket sparar maskin-, arbetskraft- och flyttkostnader och genom att storskalig sönderdelning nyttjas vid industri. Dessutom att detta kan ske utan allvarliga miljöeffekter under förutsättning att näringsförlusterna kompenseras med gödsling av aska och ev. kväve.



## Genomförande

Projektet genererade 5 arbetsrapporter, vilka refereras som rapport 1–5 och finns sammanställda i bilaga 1.

Litteratur och patent över befintliga samt tänkbara maskiner, utrustningar och koncept för skörd och komprimering av trädrester sammanställdes (Rapport 1).

Underlaget för att bedöma trädresternas areella fördelning på hygget efter konventionell och bränsleanpassad slutavverkning var mycket knapphändigt. Därför genomfördes en systematisk provyteinventering av totalt 20 hyggen, 10 st i mellersta och 10 st i södra Sverige. Hälften av objekten var avverkade enligt bränsleanpassad metod. Trädresternas täckningsgrad och medeldjup registrerades i kontinuerliga skalor på hundra provytor per objekt (Rapport 2).

Kostnaderna för skotning, hantering och vidaretransport av ett extra sortiment, komprimerade buntar av trädrester bedömdes dels utifrån litteraturstudier, dels utifrån nya studier (huvudfinansierade av Södra Skog, DESS, SkogForsk och delfinansierade av Energimyndigheten) av buntskördaren Fiberpac 370 (Rapport 3). Efter studier av litteraturen rörande lagring av komprimerade trädrester bedömdes kunskaperna vara bristfälliga avseende lagring av buntade gröna trädrester. Egna pilotförsök lades därför ut i samarbete med Södra Skogsägarna och SLU (Rapport 3).

En litteraturstudie genomfördes och kostnaderna för konventionell och bränsleanpassad avverkning samt för skotning av trädrester, flisning vid välta och vidaretransport av flis alternativt vidaretransport av trädrester och sönderdelning vid industri sammanställdes (Rapport 4). Det ekonomiska utrymmet för komprimering av trädrester enligt det integrerade systemet beräknades i jämförelse med det dominerande flissystemet i södra och mellersta Sverige samt jämfört med det mer framtidsinriktade buntsystemet av typen Fiberpac eller Woodpack (Rapport 4). Utrymmet överfördes till skördartid och utifrån Brunbergs (1995) produktionsnorm, där skördarbetet är uppdelat på moment, erhöles den maximala tidsåtgång som en integrerad komprimeringsutrustning kunde försinka avverkningsarbetet för skördaren.

Näringsuttagets storlek vid system integrerad skörd av trädrester jämfördes med: 1) dagens metoder; 2) dagens metoder och fullständig avbarrning på hygget (Rapport 5). Mängden trädrester vid en tänkt slutavverkning beräknades med hjälp av beståndsdata från ett typbestånd och befintliga biomassa-funktioner. Uttaget av näringsämnen N, P, K, Ca och Mg samt näringsuttaget i form av kiloekvivalenter baskatjoner beräknades med utgångspunkt från kända näringshalter i respektive trädrestfraktion. Utifrån dessa resultat beräknades hur mycket trädrester som måste lämnas kvar på hygget vid system integrerad skörd för att näringsuttaget skulle bli i nivå med dagens metoder (system 2) respektive dagens metoder och fullständig avbarrning på hygget (system 3).

## Resultat

De system som jämfördes var integrerad skörd jämfört med: (i) bränsleanpassad avverkning, skotning till välta, flisning vid avlägg och vidaretransport med containerbil (flissystemet); (ii) bränsleanpassad avverkning, buntning på hygget (med buntare typen Woodpack/Fiberpac), skotning till avlägg och vidaretransport med rundvirkesbil (buntsystemet) (tabell 2 och Rapport 4).

Tabell 2.

Bränslekostnad per operation för flissystemet (FS) enligt Brunberg m.fl. (1998) och för buntsystemet (BS) enligt Andersson & Nordén (1999) samt för system integrerad skörd (IS) från skog till förbrukare, kr/m<sup>3</sup>s. De poster som inte skattas markeras (x) och representerar utrymmet för integrerad skörd

| Operation                    | FS    | BS   | IS      |
|------------------------------|-------|------|---------|
| Flytt <sup>a</sup>           | 2,2   | 2,2  | X       |
| Fördyrad avverkning          | 1     | 1    | X       |
| Komprimering                 | –     | 23,5 | X       |
| Skotning                     | 22    | 8,5  | 8,5     |
| Täckning papp                | 3     | 1,5  | 1,5     |
| Lagring                      | 2     | 3    | 3       |
| Flisning avlägg              | 35    | –    | –       |
| Arbetsledning, adm.          | 5     | 5    | 3       |
| Ersättning markägare         | 10    | 10   | 10      |
| S:a kostnad före transport   | 78    | 52,5 | Σx + 26 |
| Transport 60 km              | 19    | 15   | 15      |
| Adm., vinst och risk         | 10    | 10   | 10      |
| Sönderdelning                | –     | 10   | 10      |
| S:a kostnad fritt förbrukare | 109,2 | 89,7 | Σx + 61 |

<sup>a</sup>Avser flytt av maskiner utöver skördare och skotare för ordinarie avverkning

Vid en kostnadsökning på 300–400 kr/G<sub>15</sub>-h, utan påverkan på skördarens prestation, kan systemkostnaden sänkas med 4 till 20 kr/m<sup>3</sup>s jämfört med buntsystemet, motsvarande en bränslekostnad fritt industri på 69,7 till 85,7 kr/m<sup>3</sup>s eller en sänkning på 22 till 36 % av systemkostnaden jämfört med flissystemet (Rapport 4).

Få publikationer av studier av komprimeringsutrustningar tänkbara för komprimering av GROT (förutom maskinkoncepten Woodpack och Fiberpac) hittades. Eventuellt skulle en komprimator för returpapper och skrotbilar kunna vara intressant att testa, för användning på terminal och vid långa transportavstånd (Rapport 1).

Undersökningen av trädresternas areella fördelning efter bränsleanpassad och konventionell slutavverkning visade att efter bränsleanpassad avverkning befanns i genomsnitt 87 % av den totala volymen trädrester ligga i bränsleanpassade rishögar som täckte mindre än 15 % av hyggesarealen (Rapport 2). En tillvaratagandegrad > 80 % bedöms därför ej trolig vid bränsleanpassad avverkning. I de konventionellt avverkade objekten (ej bränsleanpassade) täckte 91 % av den totala volymen trädrester 61 % av hyggets areal. På de konventionella objekten var 40 % av rismängden överkörd jämfört med 10 % i de bränsleanpassade objekten.

Fiberpac 370 är en maskin för komprimering av avverkningsrester till cylindrisk buntar i valfri längd. Huvudmetoden antas vara att under sommarhalvåret, på hygget, komprimera vinteravverkad grot. Buntarna transporteras med konventionell skotare till väg och på vanlig rundvirkesbil till terminal eller slutförbrukare. Lagring av buntar som komprimerats av Fiberpac i september 1998 studerades. Buntarna var gjorda dels av vinteravverkat material med en ingående fukthalt på 50 %, dels av buntar med helt färskt material. Buntarna lades omedelbart upp i välta, både med och utan täckning av papp. Efter sex månaders lagring under papp var fukthalten oförändrad medan den ökat ca 5 % vid lagring utan täckning. Den stjälpvolymen var drygt 1,4 m<sup>3</sup>s per bunt och effektivt värmevärde var 0,7 MWh/m<sup>3</sup>s för gröna och 0,82 MWh/m<sup>3</sup>s för bruna buntar, som legat under papp (Rapport 3).

Swampsporer före och efter lagringen analyserades. Den sammanvägda bedömningen av SLU Inst. f. Skogshushållning är att lagringen inte givit upphov till sådana mängder svampsporer att det kan vara en hälsorisk vid sönderdelning och övrig hantering av materialet (Rapport 3).

Om all GROT (i tTS) tas ut vid integrerad skörd blev mängden trädrester 24 % större än vid dagens flis- och buntsystem och 54 % större än vid dagens flis- och buntsystem där alla barren lämnas på hygget (Rapport 5). Räknat i kiloequivalenter baskatjoner, blev näringsuttaget vid integrerad skörd 33 % högre jämfört med dagens flis- och buntsystem och 94 % högre jämfört med dagens flis- och buntsystem där alla barren lämnas på hygget.

Om det i den integrerade skörden kvarlämnades trädrester på hygget i den omfattning att näringsuttaget, uttryckt i ekvivalenter baskatjoner, hamnade på samma nivå som vid jämförelsesystem 1 och 2, så minskade nettouttaget vid integrerad skörd med 20–25 % av volymen (m<sup>3</sup>s) motsvarande 5 % av vikten (tTS) jämfört med uttaget i dagens system (1) (Rapport 5). Jämfört med dagens system (2), om alla barr lämnas, krävs att 50 % av volymen trädrester lämnas motsvarande en minskningen på ca 20 % av vikten (tTS).

## Diskussion

Analysen tyder på att det finns ett ekonomiskt utrymme för konceptet integrerad skörd jämfört med dagens bunt- och flissystem. Om rundvirkes-skörden inte påverkas, genom t.ex. sänkt prestation, kan ett komprimeringsaggregat för integrerad produktion av GROT-buntar få öka skördarens timkostnad med ca 500 respektive ca 900 kr/G<sub>15</sub>-h, vid en stamvolym på 0,4m<sup>3</sup>fub. Om prestationen på rundvirkes-skörden däremot sänks med t.ex. 8 % eller 18 %, motsvarande 3 eller 6 sekunders ökad tidsåtgång per träd, minskar investeringsutrymmet till ca 400 respektive ca 300 kr/G<sub>15</sub>-h jämfört med buntsystemet. Vid 1500 utnyttjade timmar per år motsvarar det en investering på ca 1 till 1,5 miljoner kr. Påverkas prestationen mindre ökar investeringsutrymmet eller möjligheten att sänka systemkostnaden. Vid en kostnadsökning på 300-400 kr/G<sub>15</sub>-h, utan påverkan på prestationen kan systemkostnaden sänkas med 4 till 20 kr/m<sup>3</sup>s jämfört med buntsystemet. Det motsvarar en bränslekostnad fritt industri på 69,7 till 85,7 kr/m<sup>3</sup>s vid 6 mils transportavstånd, vilket i sin tur motsvarar en sänkning på 22 till 36 % av systemkostnaden jämfört med flissystemet. Den övergripande hypotesen, att sänka kostnaden för flisat skogsbränsle med 20 - 25 % vid slutförbrukare, verkar således inom räckhåll, åtminstone jämfört med dagens dominerande flissystem.

Det är svårt att precisera hur maskinkostnaden påverkas, men sannolikt ökar posterna reparation och underhåll samt bränsle och olja. Det är också troligt att den tekniska utnyttjandegraden (TU) sänks något, åtminstone inledningsvis. En kostnad för ett komprimeringsaggregat på 1 till 1,5 miljoner kr är inte realistisk, även om skördarens prestation sänks med 8 till 18 %. Sedan är frågan om den summan räcker för att konstruera ett komprimeringsaggregat.

Även om det finns ett utrymme för påverkan på rundvirkes-skörden är det viktigt att prestationen inte sänks långsiktigt. Det skulle ge effekter på rundvirkesflödet, matchningen skördare – skotare och det totala antalet skördare, som inte är önskvärda. Dessutom får den fortsatta rationaliseringen av engreppsskördare bli påverkad av utrustningen för integrerad skörd av GROT. Det är ur dessa aspekter troligen lättare att acceptera en högre timkostnad än en sänkt prestation vid skörden av rundvirket.

En fördel med ett integrerat komprimeringsaggregat är att det finns möjlighet för ett högt antal utnyttjade timmar per år. Skörd kan bedrivas året runt, vilket ger stor frihet att välja om man vill skörda GROT eller ej, både per bestånd och inom bestånd. I en valsituation framstår granbestånd, gärna grova, som fördelaktigare än tallbestånd p.g.a. den högre volymen skogsbränsle. Men samtidigt medför den sannolikt högre timkostnaden för den integrerade skördaren att det finns ett minsta antal utnyttjade timmar per år som komprimeringsaggregatet måste arbeta för att uppnå lönsamhet, vilket begränsar valfriheten.

Konceptet bygger på att man kan tillgodogöra sig rationaliseringsvinster genom att ta ut färskavverkningsrester, s.k. grön GROT. En förutsättning är att detta är acceptabelt och uthålligt från miljö- och skogsproduktionssynpunkt. Resultatet från beräkningarna visar att det är fullt möjligt att vid ett tänkt s.k. integrerat system för skörd av trädrester, jämställa näringsuttaget med andra i dag befintliga system, utan alltför stora minskningar i uttagna mängder trädbränsle.

Att lämna kvar 5 % av trädresterna (Rapport 5) förefaller vara ett realistiskt alternativ ur ekonomisk synvinkel i det integrerade systemet. En annan förutsättning är att det finns en marknad för grön GROT, med relativt hög fukthalt, eller att man kan lagra och torka balarna. Moderna förbränningsanläggningar kan konstrueras för bränsle med en fukthalt på 50-55 % med relativt god verkningsgrad, bl.a. tack vare rökgaskondensering. Andelen finfraktion lär också öka, vilket kan orsaka problem i de pannor som inte är konstruerade för denna typ av bränsle. Å andra sidan kommer det integrerade GROT-buntarna att vara ett homogent bränsle, vilket är en pann- och förbränningsteknisk fördel. Dessutom kommer det att vara betydligt renare från föroreningar i form av grus sten, m.m., eftersom det inte mellanlagras i lös form på marken.

I skogliga sammanhang, speciellt när det handlar om skogsbränsle, används många olika måttenheter. I regel är det inte bara omvandling mellan olika skalor, som t.ex. omvandling från tum till cm, utan även ”storheten” man mäter varierar, d.v.s. man inkluderar eller exkluderar delar av trädet såsom topp, bark och grenar m.m. Dessutom mäter man olika egenskaper hos ”storheten” såsom volym, vikt eller energiinnehåll. I en analys som behandlar skogsbränsle kan det tyckas att MWh vore den naturliga måttenheten. Till stor del har dock volymen flisat skogsbränsle ( $m^3s$ ) använts som måttenhet i denna analys. Anledningen är dels att prestationer och kostnader ursprungligen är mätta i  $m^3s$ , dels att energiinnehållet varierar med tiden beroende på hur skogsbränslet hanteras samt att data från försök med lagring av buntar i jämförelse med lös GROT är knapphändiga.

I både flis- och buntsystemen lagras trädresterna i högar på hygget och sedan viss tid i välta vid bilväg innan vidaretransport/sönderdelning. Tanken är att trädresterna skall torka och barra av på hygget under den varma (och torra) perioden innan eldningssäsongen startar, d.v.s. under april till september. Både bunt- och flissystemen innebär således att trädresterna lagras i minst  $\frac{1}{2}$  till 1 år, vilket inte belastar systemen med någon kostnad för substansförluster och exv. ränta i denna analys. Enligt de rekommendationstal som anges i programmet Kalkyl (Arlinger m.fl. 1997) uppgår substansförlusterna för färska barrträdsrester på hygge till ca 3,3 % per månad under april till september, d.v.s. totalt ca 20 % (samtidigt sänks fukthalten 36 %).

Efter sex månaders lagring fann Andersson & Nordén (Rapport 3) 10–15 % lägre effektivt värmevärde i gröna buntar (trädrester som komprimerats färska) jämfört med bruna buntar (trädrester som komprimerats efter lagring/torkning på hygget). Före lagring hade dock de gröna buntarna antydning till ett högre effektivt värmevärde än de bruna buntarna, vilket är överraskande, men förklaras med att en riklig nederbördsperiod höjt fukthalten i de bruna trädresterna. Troligen har dock gröna buntarna, på grund av högre fukthalt, igenomsnitt ett lägre värmevärde per  $m^3s$  vid industri än bruna buntar eller brun flis från sommartorkade trädrester. Eftersom en femtedel av de lagrade (bruna) trädresterna bryts ned kan den totala mängden energi som tas ut från ett bestånd och levereras till ett värmeverk vara lika stor eller större, vid uttag av grön GROT. Enligt Andersson & Nordén (Rapport 3) skulle t.ex. den totala mängden levererad energi från ett bestånd bli 6 % högre per  $m^3s$  vid leverans av gröna buntar á 0,7 MWh/ $m^3s$  än efter lagring medförande 20 % substansförlust och leverans av bruna buntar á 0,82 MWh/ $m^3s$ .

Analysen har gjorts med utgångspunkt från en engreppsskördare eftersom detta är den dominerande maskintypen i svenskt skogsbruk och för att tvågreppsskördaren har slutat tillverkas av de större maskinföretagen. Antagligen skulle dock ett koncept som GROT och gagnvirkesskördaren vara lättare att anpassa till en tvågreppsskördare som faller (fällhuvud i kranspetsen) och lyfter upp träden till en separat uppberedningsenhet på maskinen.

Det finns fördelar med det integrerade systemet som inte är innefattade i denna analys. Till dessa kan räknas kortare ledtider mellan produktion och förbrukning. Normalt föreligger en tidsförskjutning på ett halvt till ett år mellan avverkning av beståndet och leverans av bränslet till slutförbrukare. Detta gör det svårt att anpassa produktionen till efterfrågan, vilken kan variera beroende på årsmån (medeltemperatur) och tillgång till alternativa bränslen. Det medför i sin tur en lageruppbyggnad som kostar i form av ränta och inkurans. Betalningen till skogsägaren sker långt efter avverkning och avtransport från objektet och det är mycket svårt för skogsägaren att se hur mycket material som körts ut från hans hygge. Dessutom tar planering och kontakter med markägare och entreprenörer mycket tid och hanteringen i form av sönderkörda vägar, kvarliggande vältor m.m. uppges orsaka friktioner i markägarkontaktorna. Det integrerade systemet innebär att man i förlängningen producerar mot efterfrågan innevarande år och kan öka och minska produktionen beroende på efterfrågan och på så sätt väsentligt minska lagren. Dessutom minskar sönderkörningen av vägarna, genom färre transporter, och sambandet mellan levererad volym (antal buntar) och ersättning (t.ex. kr/bunt) blir tydligare för markägaren.

När det gäller lastbilstransporten bedömer Andersson & Nordén (Rapport 3) att lastning och lossning av nytillverkade buntar i tid ungefär motsvarar konventionell rundvirkeslastning. Ett annat frågetecken är om den konventionella lastsäkring som används för rundvirke även räcker för buntarna. Efter studier av transporter av buntar på rundvirkesfordon och samtal med åkare bedömer Andersson & Nordén (Rapport 3) att så är fallet. Liksom vid massavedskörning faller en del material under transportens första kilometer men sedan faller inte ytterligare löst material från lasset. Genom att buntarna tillkommer som en extravolym ges möjlighet att hitta intressanta transportupplägg. Möjligheten att köra buntarna som retur i ett större beting utöver ordinarie volym ger möjlighet att sänka transportkostnaden.

Lagring av gröna buntar bör undvikas dels på grund av substansförluster, dels för att en del av idén med integrerad skörd försvinner, d.v.s. att korta ledtiderna, producera mot kundorder och minska på lagren. Trots det kommer viss terminalhantering att krävas. För att skapa ett säkrare underlag för bedömning av slutkvaliteten på buntat material efter lagring krävs vidare lagringsstudier. SkogForsk och SLU, Inst. för skogshushållning avser att genomföra studierna under sommaren och vintern 1999/2000.

Skogsstyrelsen har utfärdat föreskrifter, allmänna råd och gett ut rekommendationer rörande skogsbränsleuttag och kompensationsgödsling (Anon., 1998). I korthet säger man att ett skogsbränsleuttag i princip alltid bör föranleda en kompensationsgödsling. Men, att ett skogsbränsleuttag per omloppstid kan göras utan krav på kompensationsgödsling om barr och löv lämnas kvar jämt

spridda över avverkningsområdet. Bränsleanpassad avverkning anses för närvarande, i avvaktan på bättre anpassad teknik, vara en tillräckligt god barrspridning.

Eftersom Skogsstyrelsen baserar sina rekommendationer för näringskompensation på ekvivalenter baskatjoner (kalkverkan). Anledningen är att det i första hand är skogsbränsleskördens försurande verkan man vill motverka. Vid dessa beräkningar har Ca en stor inverkan på resultatet; dels för att det är tvåvärdigt positivt laddat, dels för att det förekommer i relativt höga halter. En anledning till att det blir skillnader i resultat om beräkningarna baseras på baskatjoner i stället för enskilda näringsämnen (exv. N, P eller K) är att skillnaden i koncentration mellan barr och grenar är jämförelsevis mycket mindre för Ca än för N, P och K..

Skogsstyrelsens rekommendationer, tillsammans resultat som visat att tillväxtreduktioner uteblev när alla barr lämnades jämnt spritt på hygget (Egnell & Leijon 1999), har föranlett en diskussion om olika tekniker för avskiljande av barr, finkvist och löv vid uttag av trädrester. Från skoglig produktionssynpunkt är detta att föredra framför en kompensationsgödsling med aska. På merparten av Sveriges skogliga fastmarker, även i södra Sverige, är N det primärt tillväxtbegränsande näringsämnet (Tamm 1991). Återföring av aska löser inte detta problem utan kan t.o.m. förvärra situationen genom att det N som finns kvar blir än mer otillgängligt (Jacobson 1997). Det enda verk samma sättet att motverka en sänkt produktionsförmåga är då att gödsla med N. Men teknik för avskiljning av barr- och finfraktion saknas i dag och det är osäkert om man kan utveckla sådan teknik och metod till rimliga kostnader. Om strävan är att integrera skogsbränsleflödet med rundvirkesflödet, framstår det som en bättre idé att ta ut GROTEN grön och i stället helt lämna delar av volymen GROT.

I befintliga system för trädbränsleskörd är mängden kvarlämnade trädrester oftast koncentrerad till platsen för de bränsleanpassade trädresthögarerna och består huvudsakligen av barr. I systemet med integrerad skörd skulle mängden kvarlämnade trädrester, exv. motsvarande 25 % av volymen, enkelt kunna spridas relativt jämnt över hyggesarealen. Huruvida detta skulle kunna minska risken för förhöjt näringsläckage under hyggesfasen får betraktas som en hypotes eftersom det saknas studier där man väger ihop effekterna över hela hyggesarealen. Däremot är det tänkbart att det är bättre för den biologiska mångfalden att lämna trädrester i alla fraktionsstorlekar i stället för att lämna bara barren.

## Slutsatser

- Kostnaden för flisat skogsbränsle vid slutförbrukare kan sänkas jämfört med dagens dominerande flissystem genom utvecklande och införande av system integrerad skörd.
- Analysen visar att vid en kostnadsökning på 300–400 kr/G<sub>15</sub>-h, utan påverkan på rundvirkesskördens prestationen kan systemkostnaden sänkas med 4 till 20 kr/m<sup>3</sup>s jämfört med buntsystemet, motsvarande en bränsle-kostnad fritt industri på 69,7 till 85,7 kr/m<sup>3</sup>s eller en sänkning på 22 till 36 % av systemkostnaden jämfört med flissystemet.
- En kostnad för ett komprimeringsaggregatet på 1 till 1,5 miljoner kr är inte orealistisk, även om skördarens prestation sänks med 8 till 18 %.
- Om 20–25 % av volymen (m<sup>3</sup>s) trädrester lämnas kvar på hygget jämföras näringsuttaget vid det integrerade systemet med andra i dag befintliga system för skörd av trädrester. Då lämnas trädrester i alla fraktionsstorlekar jämfört med i huvudsak barr i befintliga system.
- System integrerad skörd kommer att ge ett bränsle (grön GROT) med högre fukthalt, högre andelen finfraktion men som är homogener och friare från föroreningar i form av grus och sten än vanligt (brunt) skogsbränsle.
- Gröna buntarna har på grund av högre fukthalt ett lägre värmevärde per m<sup>3</sup>s än bruna buntar. Men den totala mängden energi som tas ut från ett bestånd, räknat från avverkningstillfället till leverans vid industri, kan vara lika stor eller större i gröna buntar p.g.a. substansförlusterna vid lagringen.
- Ett koncept som GROT och gagnvirkesskördaren bör vara lättare att anpassa till en tvågreppsskördare än en engreppsskördare.
- Från skoglig produktionssynpunkt är det bättre att lämna barr och finkvistar än att kompensationsgödsla med aska. Men teknik för detta finns inte i dag och det är osäkert om man kan utveckla sådan teknik och metod till rimliga kostnader.

## Referenser

- Anon 1998. Rekommendationer vid uttag av skogsbränsle och kompensationsgödsling, 1998-11-16. Nr. 531/98 0.09. 6 s. Skogsstyrelsen, Jönköping.
- Anon. 1997. Energy in Sweden. Info 438-97. NUTEK. Stockholm. SWEDEN.
- Andersson, G. & Nordén, B. 1996. Balning av trädrester – en systemanalys. SkogForsk. Stencil 1996-06-20.
- Arlinger, J., Brunberg, B., Nordén, B. & Thor, M. 1997. Utbyte och Kalkyl – Windowsprogram för utbytes- och systemanalyser. SkogForsk. Resultat nr 9, 1997.



- Brunberg, B. Andersson, G. Nordén, B. & Thor, M. 1998. Uppdragsprojekt Skogsbränsle – slutrapport. SkogForsk Redogörelse, nr 6. Uppsala. ISSN 1103-4508.
- Brunberg, T. 1995. Underlag för produktionsnorm för stora engreppsskördare i slutavverkning. SkogForsk. Redogörelse nr 7, 1995.
- Egnell, G., Nohrstedt, H-Ö., Weslien, J., Westling, O. & Örlander, G. 1998. Miljökonsekvensbeskrivning av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. Skogsstyrelsen, Rapport 1 1998. Jönköping. 170 s.
- Egnell, G. & Leijon, B. 1999. Survival and growth of planted seedlings of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* after different levels of biomass removal in clear-felling. Scand. J. For. Res. 14: 303-311.
- Filipsson, J. 1998. Trädbränsle – en kartläggning av produktion, metoder och förbrukning. SkogForsk. Arbetsrapport Nr 403.
- Jacobson, S. 1997. Återföring av aska kan ge tillväxtförluster. SkogForsk, Resultat Nr 23. Uppsala. 4 s.
- Olsson, M., Melkerud, P-A. & Rosén, K. 1993. Regional modelling of base cation losses from Swedish forest soils due to whole-tree harvesting. Applied Geochemistry. Supplement 2: 189-194.
- Tamm, C. O. 1991. Nitrogen in terrestrial ecosystems. Ecol. Studies, Vol. 8. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 115 s. ISBN 3-540-51807-X.
- Warfinge, P. & Sverdrup, H. 1992. Effekter av luftföroreningar på framtida skogstillväxt. Skogspolitiken inför 2000-talet. Bilagor II. SOU 1992:76, Stockholm. s. 379-409.



## Genererade arbetsrapporter

### **Rapport 1**

Löfroth, C. 1998. Kartläggning av komprimeringsutrustning. SkogForsk, Arbetsrapport nr 384. Uppsala. 16 s.

### **Rapport 2**

Jacobson, S. & Filipsson, J. 1999. Trädresternas rumsliga fördelning efter slutavverkning – jämförelse mellan bränsleanpassad och konventionell avverkningsmetod. SkogForsk, Arbetsrapport nr 422. Uppsala. 18 s.

### **Rapport 3**

Andersson, G. & Nordén, B. 2000. Fiberpac 370 - en systemstudie. SkogForsk Arbetsrapport nr 448. Uppsala. 34 s.

### **Rapport 4**

Glöde, D. 2000. GROT & gagnvirnesskördaren – analys av ett koncept för bättre lönsamhet vid GROT-skörd. SkogForsk, Arbetsrapport 449. Uppsala. 18 s.

### **Rapport 5**

Jacobson, S. 2000. Skörd av färsk jämfört med avbarrad GROT – växtnäringsspekter. SkogForsk, Arbetsrapport nr 450. Uppsala. 18 s.