# SKOGEN
## – EN VÄXANDE ENERGIKÄLLA

Sammanfattande rapport från

**Effektivare Skogsbränslesystem 2007-2010**

SKOGFORSK

## Programledarens förord

Skogsbränsle får en allt viktigare roll i vår energiförsörjning. Skogsbuket har under en följd av år ökat uttaget av skogsbränsle med 1-1,5 miljoner m³ årligen och denna utveckling beräknas fortsätta. Ett världsomfattande fokus på frågan om global uppvärmning har förstärkt motiven för en ökad användning av bioenergi. I skogslandet Sverige är bioenergi nästan synonymt med bränslen från skogen. Skogsbränsle är i det närmaste neutralt med avseende på utsläpp av växthusgaser och tekniken att omvandla bränslet till energi är väl utvecklad.

FoU-programmet Effektivare Skogsbränslesystem (ESS) är ett brett samverkansprojekt där Energimyndigheten, skogs-, energi- och transportsektorn samt Skogforsk tillsammans satsat nära 60 miljoner kronor för att vidareutveckla skogsbränsleverksamheten. ESS löper mellan åren 2007-2010 och administreras från Skogforsk. Men programmet är öppet för ansökningar och ESS har därmed fått formen av ett nätverk. Genom ESS samordnas utvecklingsinsatserna inom området för ett flertal FoU-organisationer på ett enkelt sätt. Under programmets löptid har en nationell kompetens byggts upp och organiserats. Det bådar väl för framtiden.

I skrivande stund, juni 2010, återstår ett halvt år av programmet. Den här rapporten sammanfattar många av de intressanta resultat som redan nu föreligger. För den som vill tränga djupare in i något ämnesområde hänvisas till **skogforsk.se\ess-rapport**. Rapporten ger bilden av ett område i snabb utveckling. Den ger fakta som kan vara till nytta för beslutsfattare, den ger kunskaper till en intresserad allmänhet och – hoppas jag – ger idéer och uppslag för fortsatt utveckling. Det är med glädje och förhoppningen om nya insikter om skogsbränsle som jag och medarbetarna inom ESS-programmet, inom och utanför Skogforsk, överlämnar vår sammanfattande rapport.
Trevlig läsning!

Rolf Björheden
Programledare ESS

# Innehåll


**Introduktion**

6 Effektivare skogsbränslesystem

**Skogsbränslets naturpåverkan**

9 Skogsbränsle, miljö och skogsproduktion

**Människan**

14 Affärsmodeller i skogsbränsleverksamheten

16 Utbildning i effektivare grothantering

19 Arbetsmiljö och ergonomi i skogsbränslehanteringen

**Grot**

22 System för hantering av grot

27 Sönderdelning och transport – nycklar till effektivare skogsbränslesystem

30 Direktskotad grön grot – stora möjligheter och mindre problem än väntat

32 Integrerad skörd av rundvirke och grotbuntar

34 Prestationsnormer för effektiv grotskotning

36 Uppföljning av John Deere grotbuntare

38 Underväxtröjning

**Stubbar**

40 Föraren avgör prestation och vibrationer vid stubbrytning

44 Grovkrossning av stubbar på avlägg sänker kostnaderna

47 Stubbvedens bränsleegenskaper vid lagring och hantering

48 Kraftbehov vid stubbrytning

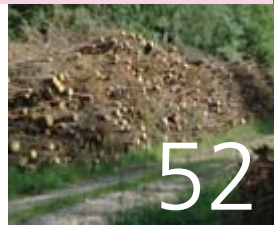
50 Stubbskördeteknik för minskad markpåverkan

**Klena träd**

52 Unga bestånd – en växande energikälla

54 Teknik och metoder för avverkning av klena träd

58 Geometrisk gallring i klena bestånd






ESS

www.skogforsk.se

REDAKTÖRER

ÅKE THORSÉN
ROLF BJÖRHEDEN

INGER PETRÉ
Layout

INGEGERD HALLBERG
Figurer & tabeller

TRYCK

GÄVLE OFFSET
Gävle

SKOGFORSK
Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala
Tel. 018-18 85 00. Fax. 018-18 86 00
E-post. info@skogforsk.se
www.skogforsk.se



©

Copyright om inte annat anges:
SKOGFORSK

# Innehåll


60 Korridorgallring för uttag av träddelar

63 Mer skogsbränsleuttag i vägkanter

**Teknik**

66 Krossar på avlägg – arbetsorganisation kritisk

68 Huggbilar blir vanligare

72 A-gripen ökar produktiviteten

74 Bränsleförbrukning vid sönderdelning av skogsbränsle

**Järnvägstransport**

76 Förutsättningar för ökad järnvägstransport av skogsbränsle

78 Effektivisering av järnvägstransport av skogsbränsle

82 Inlandsbanan – en möjlig transportled för skogsbränsle

**Beslutsstöd**

84 Datorsimuleringar för jämförelser av grotsystem

86 Marginalkostnadsanalyser stödjer regional systemutveckling

89 FLIS – kalkylverktyg för interaktiva systemanalyser

90 Bränsleuttagets långsiktiga ekonomi – beräkningsverktyg för skogsägare

92 ChipOpt – flödesoptimering av skogsbränslen

96 Skogsbränsleenkät

98 Kunskap Direkt om skogsbränsle

**Mätning**

100 Mätning av bränsleved

102 Nya sortiment och omräkningstal behövs för skogsbränsle

104 Flerträdmätning med skördare

106 Skördarrapportering av grot och stubbar

108 GROTSPORRE ger bättre lönsamhet

# EFFEKTIVARE SKOGSBRÄNSLESYSTEM

## Bakgrund

Skogen har sedan 1970-talet fått en allt viktigare roll i svensk energiförsörjning. Utvecklingen startades genom oljekriserna som gjorde det önskvärt att finna ekonomiskt fördelaktiga, inhemska bränslen. Sverige var vid tidpunkten för första oljekrisen, förutom för elproduktion, nästan helt beroende av importerade fossila bränslen. Under senare år har farhågorna för uppvärmningseffekter genom växthusgaser, främst koldioxid från fossila bränslen, gett ytterligare eftertryck åt intresset att utveckla och öka produktionen av förnyelsebara biobränslen. För skogslandet Sverige är detta nästan synonymt med skogsbränsle.

Utvecklingen har varit stadig. Från 1980 har Sveriges användning av biobränslen ökat med c:a 3 TWh per år, motsvarande 1,5 miljoner m3f/år. Efterfrågeökningen beräknas ligga kvar på denna nivå. För närvarande står trädbränslen för omkring 120 TWh/år vilket utgör över en fjärdedel av den totalt utnyttjade energin. Skogsindustrins biprodukter, som står för huvudparten av detta bidrag, är numera fullt utnyttjade. Ytterligare ökade bränsleleveranser måste därför baseras på primära skogsbränslen, dvs. grot, klenträd, stubbar och annat virke som tas ut med det enda ändamålet att utgöra bränsleråvara.

Utvecklingen har hittills skett i en överskottssituation. Priset för primära skogsbränslen låg från 1980 till 2005 stabilt på c:a 12 öre/kWh. I reala termer innebär detta en kraftig prissänkning under perioden. Därefter ökade priset 2006 till 15 öre/kWh och vidare till omkring 20 öre/kWh idag. Detta speglar främst en ökad efterfrågan. Att skogsbränsle åsätts ett högre värde ger utrymme och stärkta drivkrafter för effektivisering och ökad kvalitet.

Ovanstående skiss av utvecklingen utgör bakgrunden till FoU-programmet Effektivare Skogsbränslesystem, ESS. Programmet startade i april 2007 och avslutas 2010.

## ESS-programmets organisation

Bränslegruppen på Skogforsk, med sju medarbetare, har utgjort programmets basresurs. De flesta projekten har genomförts vid Skogforsk, men andra FoU-utförare, särskilt SLU, har utfört betydande delar. Bränslegruppen har samordnat verksamheten, stått för forskningsmässig basverksamhet och tagit huvudansvaret för informations- och förmedlingsverksamhet i skogsbränsletekniska frågor.

I programmets beslutande organ, styrelsen, representeras finansiärerna genom strategiskt ledande personal från respektive organisation. Styrelsen beslutar om ESS-programmets inriktning och projektverksamhet. Näringslivet är i majoritet i styrelsen.

Bränsletekniska Samverkansgruppen, BSG, bereder projekt- och verksamhetsförslag inför styrelsens möten. BSG består av operativt ledande personal från programmets intressenter och utgör en ganska stor grupp på c:a 20 personer.

Varje projekt inom ESS följs av en s.k. projektlots, vilket är en person från näringslivet med goda kunskaper och starkt engagemang inom projektets område. Lotsen skall verka för att näringen får största möjliga nytta av projektet. Särskilt bevakas att resultatet blir tillämpbart och anpassat till gällande driftsförutsättningar. ESS organisation har även bidragit till snabb spridning av resultat.

Efter tre års verksamhet är Bränslegruppen etablerad som en nationellt sammanhållande funktion för FoU kring försörjningssystem för skogsbränsle. Inledningsvis koncentrerades arbetet på nulägesbeskrivningar och på att etablera kontakt med den skogsbränsletekniska kompetensen i Sverige och

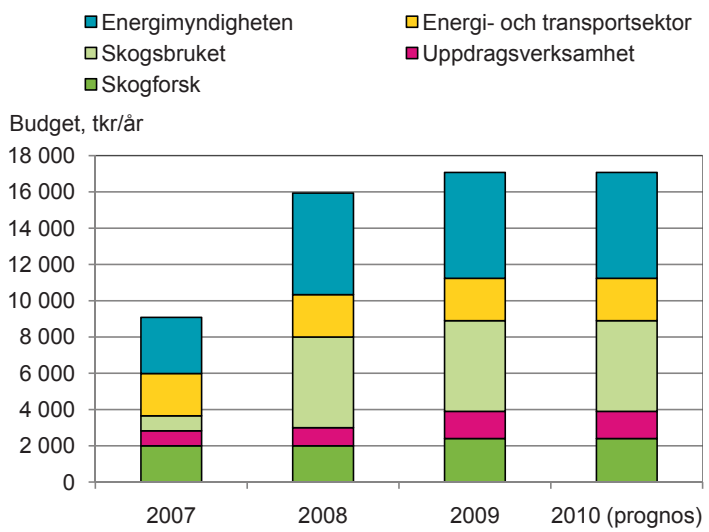
grannländerna. Därefter har större vikt kunnat läggas på praktiska tester och utvärderingar och på utvecklingsinsatser av olika slag, baserat på den initiala kartläggningen och i samverkan med närliggande FoU. Informations- och utbildningsverksamhet, för att föra ut de nya kunskaperna, har med tiden blivit allt viktigare.

ESS har arbetat med teknikområden som grot-, klenträds- och stubbskördeteknik, liksom med transport- och sönderdelningsteknik. Andra viktiga områden har varit logistik, mätning och bränslekvalitet, organisation och affärsprocesser. Totalt har ett femtiotal projekt genomförts. Arbetet har varit framgångsrikt, vilket framgår av de exempel på produktivitets- och lönsamhetshöjande insatser som redovisas i denna skrift.

De mål som uppsattes för programmet har i huvudsak uppnåtts. ESS kan anvisa teknik, system och metoder som kraftigt sänker produktionskostnaderna, som höjer bränslets kvalitet och ökar utbudet av bränsleråvara. Kunnande och intresse har ökat på alla nivåer. Men efter tre års verksamhet måste även konstateras att mycket arbete återstår. Bränslegruppen har listat angelägna områden för fortsatt FoU och föreslår en fortsättning med en ny fyraårig programperiod.

## ESS finansiering och intressenter

Bortsett från startåret har ESS budget omfattat c:a 16 miljoner kr/år. Skogs-, transport- och energisektorn har stått för forskningsmedlen, med stöd från Energimyndigheten. Skogsbruket har, främst genom Skogforsks intressenter, stått för nära 50 procent av finansieringen. Skogsbränsleanvändarna har bidragit med drygt tio procent. Energimyndigheten motfinansierar näringslivsmedlen med 40 procent och är därmed den enskilt största finansiären. Medlen har till 17 procent använts för programadministration, 15 procent för gemensamma kostnader som kompetensutveckling, informationsverksamhet och publicering medan hela 68 procent kunnat användas i FoU-projekten.




Efter det första årets uppbyggnadsskede har ESS-programmet omsatt ca 16 milj. kr per år.

FOTO: BJÖRN SVENSSON/SKOGENbild

# SKOGSBRÄNSLE, MILJÖ OCH SKOGSPRODUKTION

Rolf Björheden, Skogforsk

Skogsbränsle är en nästan koldioxidneutral energikälla och ur ett klimatperspektiv betydligt miljövänligare än fossila bränslen. Användningen av skogsbränsle är redan idag omfattande men kan ökas väsentligt. Att uttaget av biomassa från skogen ökas medför emellertid risker för negativ påverkan på biodiversitet, mark, vatten och på skogsmarkens långsiktiga produktionsförmåga. Genom val av lämpliga objekt, god planering, hänsynstagande och lämpliga kompensationsåtgärder kan riskerna minskas till acceptabla nivåer.

**Skogsbränslen är i det närmaste** koldioxidneutrala. LCA-analyser visar att energin i de drivmedel som används vid skörd, bearbetning och transport av skogsbränslen motsvarar 3-5 procent av energivärdet hos det utvunna skogsbränslet. Grot, stubbar och småträd skulle om de inte togs tillvara ändå ha förmultnat och avgett koldioxid. Detta betyder att klimatnyttan av det svenska skogbränsleutnyttjandet är högt. Men ett ökat uttag av råvaror från våra skogar innebär också risker. Vilka är riskerna och är de negativa konsekvenserna av ett intensivare skördeuttag acceptabla eller möjliga att parera?

Miljörisker förknippade med ökade biomassauttag från skogen kan beskrivas under rubrikerna

- Minskad biodiversitet på skogsmark och anslutande vattendrag
- Negativ miljöpåverkan (främst genom påverkan på vatten)
- Sänkt produktionsförmåga och buffringskapacitet i skogsmark
- Sänkta estetiska kvaliteter och lägre rekreationsvärde i skogslandskapet

Skogstyrelsen har, baserat på omfattande forskning och miljökonsekvensutredningar, meddelat rekommendationer att iaktta vid uttag av grot och stubbar efter rundvirkesskörd. Bland de allmänna rekommendationerna återfinns uppmaningen att lämna ”evighetsträd”, buskar, högstubbar och lågor på objektet. En generell brist i skogslandskapet är död ved. Bristen är särskilt påtaglig då det gäller grövre stamved (och kolad ved, som tidigare var vanligare p.g.a. skogsbränder). Förekomst av grov stamved och kolad ved hotas knappast genom ett ökat uttag av grot, stubbar och klena träd, men ett ökat skogsbränsleutnyttjande minskar mängden ”trivial död ved” och sätter extra press på de vedlevande organismerna. Särskilt allvarligt är det om man vid skogsbränsleskörd av oaktsamhet eller okunskap får med sig eller skadar döda träd, högstubbar och lågor, som lämnats för generell hänsyn. Detta förekommer. Det är alltså angeläget att reglerna kring generell och särskild hänsyn sprids och befästs ytterligare när skogsbränsleuttag nu ökar i omfattning.

FOTO: BJÖRN SVENSSON/SKOGENbild

Under senare tid har kopplingen mellan skogsbruk och vattenmiljöer uppmärksammats särskilt. Skador på marken kan medföra följdskador på vattenmiljöer längre ned i ett avrinningsområde. Markskador på grund av arbete med tunga maskiner är ett allmänt skogstekniskt problemområde. För att minska problemet krävs en kombination av tekniska och metodmässiga anpassningar. Riskerna för negativ påverkan är särskilt påtagliga på finjordsrika och fuktiga terrängavsnitt. Vattenkvaliteten kan påverkas negativt genom slam, humusämnen och ett ökat läckage av näringsämnen, metylerat kvicksilver och andra tungmetaller. Kopplingen till skogsbränsleuttag består i att uttag av grot kan minska möjligheten att på känsliga terrängavsnitt utnyttja avverkningsrester för förstärkning av skogsmaskinernas körstråk. Stubbskörd medför sänkt bärighet och därmed ökad risk för markskador och markkompaktering

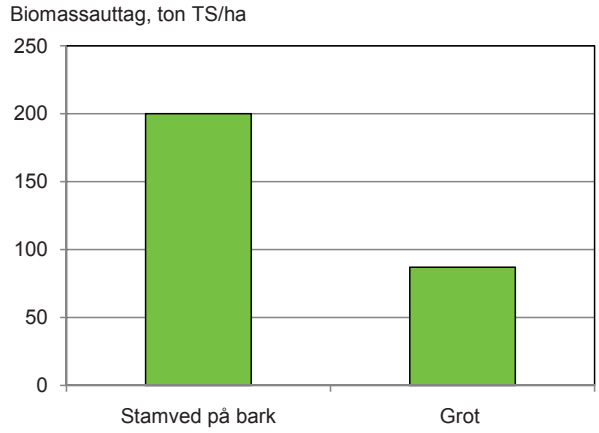
**Grotuttag**

Uttag av grot efter slutavverkning bedöms inte medföra signifikanta risker för sänkt biodiversitet jämfört med traditionellt stamvedsuttag. Grot från lövträd (särskilt asp och ädellöv) som legat överst på vältans solbelysta yta kan dock utgöra yngelsubstrat för flera hänsynskrävande skalbaggsarter. Det bör därför plockas av och återföras på hygget under den tid då ägg och larver kan finnas i materialet. Även vid uttag av grot från barrträd bör uttaget enligt Skogsstyrelsens rekommendationer begränsas till 80 procent av bruttomängden grot (beräknad som mängden grenved och toppar < 5cm).

Den mest påtagliga miljöeffekt som föreligger vid grotuttag är risken för sänkt ANC (Acid Neutralizing Capacity) vilket är ett mått på markvätskans buffertkapacitet. Vid avverkning bortförs organiskt material som innehåller baskatjoner och i grotens finkvistar och barr finns höga halter baskatjoner vilket avspeglas som hög askhalt i materialet.

Minskningen av ANC kan pareras genom återföring av aska i en form som långsamt löses, t.ex. härdad krossad aska. Givor motsvarande 1,5-3 ton torr aska/ha är vanliga. Skogsstyrelsen ger i Meddelande 2-2008 detaljerade rekommendationer för askåterföring efter grotuttag. Askåterföring sker idag på drygt 10 000 ha/år, mest i södra Sverige. Askåterföring borde ske på en väsentligt större areal för att nå en nivå enligt Skogsstyrelsens rekommendationer, men intresset är måttligt och tillgången på lämplig aska begränsad. Det är angeläget att utveckla teknik och system för sänkta kostnader. Kompensationsåtgärderna bör också göras mer attraktiva för skogsägaren. Om askåterföring enkelt kunde kombineras med t ex kvävegödsling så skulle säkert intresset öka.

En måttlig tillväxtnedsättning verkar föreligga efter grotuttag, sannolikt motsvarande 1-2 års förlängning av omloppstiden. Askåterföring har liten eller ingen effekt som medel för att kompensera för tillväxtnedsättningen, vilken tycks bero på minskad tillgång på tillgängligt kväve och därmed enkelt kan åtgärdas genom tillförsel av kvävegödselmedel.

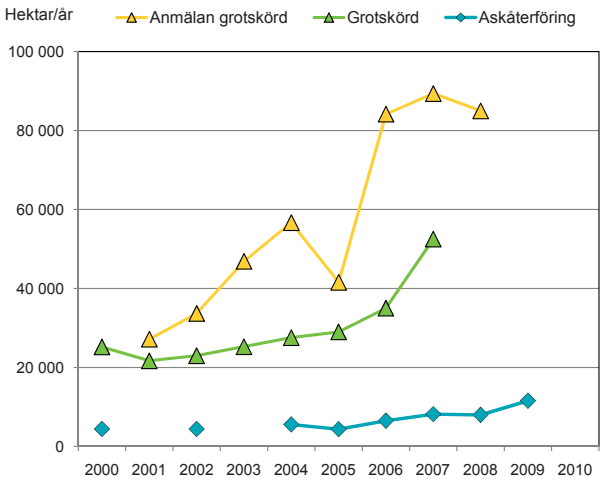


Till vänster visas ett exempel på totalt biomassauttag, ton TS/ha, under en omloppstid. Ett grotuttag efter slutavverkning innebär ingen kraftig ökning av uttaget. Till höger visas askhalten i den uttagna biomassan som kg torr aska/ha. Det framgår av högra bilden att grotuttag nästan fördubblar askhalten i uttaget. I askan finns stora mängder mineralnäringsämnen.

### Stubbskörd

De eventuella negativa konsekvenserna av stubbskörd utreds för närvarande i ett större forskningsprogram, Tema Stubbar, vid SLU. Stubbskörd ger endast måttligt ökad bortförsel av mineralnäringsämnen och baskatjoner. Dagens kunskap pekar på att stubbar är ett substrat med begränsad betydelse för mera hänsynskrävande vedlevande arter. Med nuvarande omfattning av stubbskörd (< 1 procent av den årligt föryngringsavverkade arealen) torde effekterna i ett landskapsperspektiv vara försumbara. Särskilt då man beaktar att endast grövre barrträdsstubbar skördas och att även dessa lämnas nära vattendrag och våtmarker samt även i närheten av beståndsgränser och där generell hänsyn tagits till lågor, högstubbar och evighetsträd. En omfattande stubbskörd skulle dock kraftigt minska mängden grov död ved i skogslandskapet. En kompensation för stubbuttaget genom att högstubbar lämnas skulle sannolikt öka tillgången på lämpligt substrat för hänsynskrävande arter, men hur omfattande en sådan ökning av mängden död ved måste vara har ännu inte undersökts.

Markstabilitet och markkemi kan påverkas negativt av stubbskörd. Särskild försiktighet bör iakttas på fuktigare hyggespartier, rika på organiskt material, och i anslutning till vattenmiljöer, där man bl. a. kunnat visa att körskador och markomrörning kan leda till metylering av kvicksilver. Sambanden är ännu inte helt utredda. Ytterligare forskning krävs innan klara riktlinjer kan formuleras. Skogsstyrelsen meddelade i april 2009 preliminära rekommendationer gällande stubbskörd, vilka förväntas gälla fram till en revision under 2013.




Årligen anmäld areal för grotuttag, verklig grotskördad areal (preliminär siffra för 2007) samt areal på vilken återförts aska. Uttaget av grot ökar snabbt, medan askåterföring utvecklas långsammare. Då intensiteten i skogsbruket ökas, krävs sannolikt kompensationsåtgärder för att säkerställa uthållighet i skogsproduktionen.

### Uttag av klena träd

I samband med omfattande helträdsuttag i klen skog ser man tydligare negativa effekter i form av minskad tillväxt än efter uttag av grot. Förklaringen är att uttaget sker i växande skog, där en viss knapphet på näring råder. Därför syns effekterna tydligare än på ett hygge, där plantornas etablering och tillväxt inte huvudsakligen begränsas av tillgången på näring.

Den nya typen av ”knäckkvistade” träddelar, som komprimerats och grovkvistats genom att köras genom avverkningsaggregatet gör att en stor del av de näringsrika finkvistarna lämnas i beståndet. Detta bör minska problemen, men vi vet ännu inte i vilken grad. Aska kan inte återföras samtidigt som massaved skall tas ut eftersom nedsmutsning av massaveden med aska är förödande för de industriella processerna. Men askåterföring i gallringar där enbart skogsbränsle tas ut kan vara en metod att återföra baskatjoner. I likhet med vad som ovan sagts om grotuttag måste dock även kväve tillföras för att eliminera produktionsbortfallet.

### Sammanfattande bedömning

Då skogsutnyttjandet intensifieras genom ett ökat uttag av biomassa kan framtida produktion påverkas negativt, eftersom uttaget av för växterna tillgängliga näringsämnen minskas. Skogsmarkens förmåga att motstå försurning minskas i princip då ökade mängder baskatjoner förs bort. Felaktigt utfört kan ökade bränsleuttag leda till ökade markskador bl a med negativ inverkan på vattenkvalitet som följd. Ett omfattande uttag av grot, småträd och, framförallt, stubbar kan också försämra tillgången på substrat för vissa hänsynskrävande arter, särskilt av vedlevande skalbaggar.

Om dagens kunskaper tillämpas finns dock goda förutsättningar för att kraftigt öka uttaget av skogsbränsle, utan oacceptabla konsekvenser för miljö och biodiversitet. Kompensations- och försiktighetsåtgärder måste dock komma till användning och utvecklas vidare för att säkerställa att ett högt utnyttjande av skogsbränsle kan ske utan allvarliga miljöeffekter.

FOTO: BJÖRN BÄCKSTRÖM/SKOGEN.bild

# AFFÄRSMODELLER I SKOGSBRÄNSLEVERKSAMHETEN

Klas Norin, Skogforsk & Anders Tosterud, Tosterud Forest Consult

De affärsmodeller som används för köp och försäljning av skogsbränslen styr i hög grad utvecklingsklimatet. Med hjälp av djupintervjuer har en kartläggning av dagens modeller därför genomförts. Av de sex modeller som identifierats bedöms "Förhandlingsmodellen" och "Partnerskapsmodellen" ha den största potentialen då det gäller att skapa en god grund för utveckling av skogsbränsleverksamheten i Sverige.

**Köp och försäljning** av skogsbränsle har pågått under en lång tid men haft begränsad omfattning. Det är först under de allra senaste åren som verksamheten växt så mycket att skogsbränsle nu kan betecknas som skogsbrukets tredje sortiment, vid sidan av timmer och massaved. Den snabba expansionen har ökat kraven på effektivisering och tydliggjort en stor eftersläpande förbättringspotential. Tidigare erfarenheter av utvecklingsarbete i skogsbruket, bl.a. entreprenöriseringen av drivningsarbetet, visar att ett nära och bra samarbete mellan parterna är nyckeln i förbättringsarbetet. Utvecklingsklimat är mycket beroende av hur affärerna görs upp. Karaktären på affärsuppgörelsen kan antingen bromsa eller stimulera utvecklingen. Affärsmodellerna för köp och försäljning av skogsbränslen har därför kartlagts genom djupintervjuer med 15 stora säljare och 23 stora köpare av skogsbränsle.

Sex olika affärsmodeller har identifierats:

**Konkurrensmodellen.** Flera värmeverk förlitar sig på att konkurrensen mellan bränsleproducenterna ska stimulera utveckling. Upphandlingarna görs genom ett öppet eller riktat anbudsförfarande.

**Förhandlingsmodellen.** En klassisk inköpsmodell där köpare och säljare som vanligtvis känner varandra förhandlar sig fram till ett affärsavtal som båda känner sig tillfreds med.

**Prislistemodellen.** Är en modell där en, oftast stor, leverantör av skogsbränsle säljer bränslet efter en ensidigt uppgjord prislista. Modellen passar bäst då en stor aktör gör affärer med många små. Detta är en modell som inte stimulerar till gemensamt utvecklingsarbete.

**Direktköpsmodellen.** Det finns även ett par värmeverk som riktar sig direkt till de privata skogsägarna, ibland med en färdig prislista på olika bränslesortiment.

**Energibörsmodellen.** En tänkt modell som skulle efterlikna sättet att köpa och sälja t.ex. elström. Det är svårt att tro att den skulle fungera för skogsbränsle, där kvalitet och energiinnehåll varierar stort och dessutom är besvärligt att i fält bestämma i förväg.

**Partnerskapsmodellen.** Detta är inte en affärsmodell i egentlig mening utan mer ett förhållningssätt som kan appliceras på de andra modellerna. Några av de intervjuade nämnde den som en möjlighet att effektivisera utvecklingsarbetet. Ett exempel på ett möjligt partnerskapsprojekt skulle kunna vara en samägd terminal där skogsbränslen lagras och förädlas. Partnerskap runt olika utvecklingsprojekt kan med fördel kombineras med förhandlingsmodellen.

I intervjuerna framkom att de två vanligaste affärsmodellerna då skogsbruk och värmeverk handlar med skogsbränsle är konkurrensmodellen och förhandlingsmodellen.

Dessutom finns det säljare av skogsbränsle som tillämpar prislistemodellen och köpare som tillämpar direktköpsmodellen. Två andra, tänkbara affärsmodeller diskuterades också under intervjuerna, energibörsmodellen och partnerskapsmodellen. Av dessa sex affärsmodeller bedöms förhandlingsmodellen samt partnerskapsmodellen ha störst potential då det gäller att skapa en god grund för utveckling av skogsbränsleverksamheten i Sverige.

En annan viktig affärsprocess för utvecklingen av framtidens skogsbränsleverksamhet är de tjänster som köps från skogsentreprenörer och åkare. Skogsbrukets normala sätt att köpa entreprenadtjänster är genom ett s.k. ackordsprisförfarande, där arbetet betalas efter andra kriterier än timersättning för nedlagd tid. Ackordsprissättning har hittills haft liten omfattning inom skogsbränsleverksamheten, eftersom skogsbränsleproduktion är svårmätt och objektiva mätverktyg och –metoder saknats. En tredje viktig affärsprocess gäller den råvara som köps från privata skogsägare. Dagens skogsägare är mestadels positiva till att ta ut skogsbränsle från sina skogar. Detta kan emellertid snabbt ändras om man upplever att affären inte utförs på ett sätt som gynnar bägge parter.

**Fortsatt FoU-behov**

Några viktiga utvecklingsområden med anknytning till affärsmodellerna som intervjuerna aktualiserat är:

- Utveckla och sprida affärsmodeller som stöttar utveckling. Modellerna ska avse köp av skogsbränslen, entreprenadtjänster och skogsråvara från privata skogsägare.
- Bränslesortimentens beskrivning och inmätning.
- Värmeverkens betalningsförmåga för olika sortiment.
- Gemensamma partnerskapsprojekt, t.ex. gemensamma terminaler.
- Utbildning av folk, både från skogsbruket och förbrukarna, så att det överallt i skogsbränsleverksamheten finns människor med en djup förståelse för hela processen från stubbe till energi.
- En mer omfattande studie och djupare analys av vad som driver utveckling i skogsbränsleverksamheten än vad som varit möjligt i den refererade undersökningen.
- Utforska vad som upplevs som en bra affär av parterna.
- Skapa olika forum för erfarenhetsutbyte och utveckling mellan förbrukare och leverantörer av skogsbränslen.

FOTO: THOMAS ADOLFSÉN/SKOGEN bild

# UTBILDNING I EFFEKTIVARE GROTHANTERING

Tomas Johannesson & Rolf Björheden, Skogforsk

I april 2008 påbörjade Skogforsk en kampanj för att öka effektivitet och kvalitet i det praktiska arbetet med grothantering. Efter två år har mer än 2 000 maskinförare, entreprenörer och tjänstemän vidareutbildats inom områden som rör val av rätt metod och teknik, planering av arbetet och hur arbetsresultatet påverkar efterkommande led i produktionskedjan. En uppskattning är att utbildningsinsatserna generellt sett förbättrat effektiviteten i grothanteringen med 5-10 procent.

**Förutsättningarna för en effektiv** skogsbränslehantering skiljer sig stort mellan olika regioner och områden i Sverige. Skillnaderna påverkar avsättningsmöjligheterna och vilka metoder och hanteringsmodeller som passar bäst under lokala förhållanden. Kunskaperna om vilka metoder det finns att välja bland och vad som avgör när den ena eller andra metoden bör väljas har ofta varit begränsade bland personalen i fält.

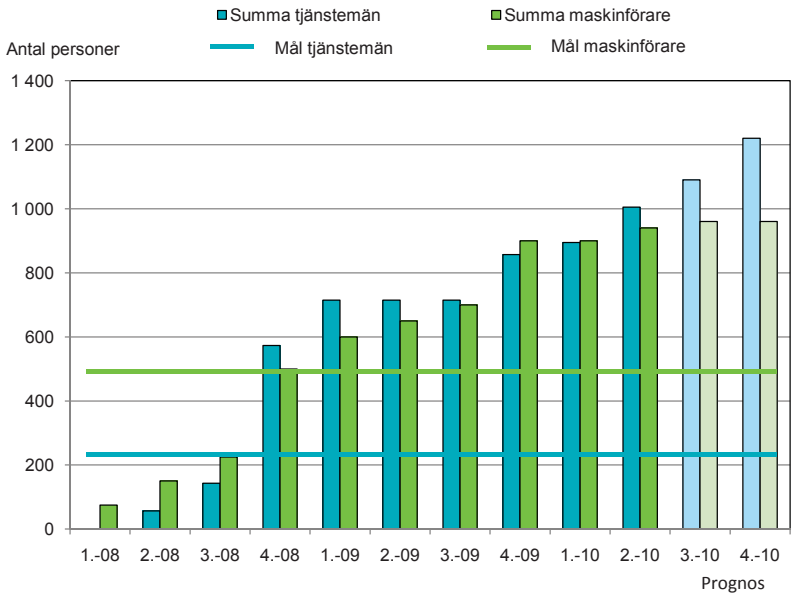
I april 2008 påbörjade Skogforsk en massiv utbildningskampanj om grot. Fokus har legat på hanteringsfrågor och rutiner samt på att öka insikten om det egna arbetet och hur det påverkar övriga led i produktionskedjan. Dessa utbildningar har företagsanpassats för att stämma överens med lokala förutsättningar. Skogsbolagen har i stort samma förutsättningar och kursinnehållet blir därmed ofta likartat. Skogsägarföreningar och mindre skogsägare har krävt mer omfattande anpassningar av kursinnehållet.

För utbildningarna har två primära målgrupper identifierats; skogliga tjänstemän och maskinförare. Dessutom utbildades inledningsvis ett 15-tal instruktörer. Av dessa är i dag 6-8 aktiva i olika utbildningar som främst riktar sig till maskinförare inom skogsföretagen.

Utbildningen i praktisk grothantering omfattar,

- val av rätt metod och teknik,
- ändamålsenlig planering,
- ökat och förenklat samarbete mellan grotförsörjningskedjans aktörer.

Utbildningen ger ökad överblick och bättre förståelse för grotproduktionen, men också en fördjupad metodkunskap. Detta gör att förmågan att välja rätt metod vid skiftande förutsättningar ökar med ökad effektivitet och kvalitet i arbetet som följd. Särskild vikt har lagts vid att man skall känna till föregående och efterföljande led i kedjan. Därmed kan arbetet inriktas på att leverera en optimal mellanprodukt till nästa aktör i kedjan.




Kvartalsvis ackumulerat antal maskinförare resp. tjänstemän som genomgått grotutbildningen samt den målsättning om deltagarantal som sattes upp vid kampanjstarten.

Kontakterna med ett stort antal intresserade praktiker i den breda utbildningssatsningen har gett en god återföring av kunskap. Baserat på kursmaterialet och de erfarenheter som gjorts under utbildningen har Skogforsk publicerat handledningen Effektivare grothantering.

Målsättningen var att under projekttiden nå 500 förare och 225 skogliga tjänstemän. I maj 2010 hade nära 1 000 maskinförare och 1 005 tjänstemän, varav 431 inom privatskogsbruket, genomgått utbildningen. Totalt har 69 kurser hitintills genomförts.

Kursutvärderingarna har varit mycket positiva (samfällt ”betyg” 83 på en skala 0-100), men de praktiska effekterna av utbildningsinsatserna är svårare att värdera. Spontana rapporter från deltagande skogsägarföreningar och bränslekonsumenter ger dock vid handen att man ser en påtaglig förbättring vad gäller såväl ökade leveransvolymer som kvaliteten på dessa. Baserat på erfarenheterna från liknande kampanjer (t.ex. för bättre aptering och virkesbehandling) är det rimligt att anta c:a 5-10 procent effektivitetsförbättring som en följd av insatserna. Erfarenheterna visar dock att det krävs regelbundet återkommande utbildningsinsatser för att förbättringseffekten inte ska avklinga.

Delar av Skogforsks grotutbildning har inlemmats i andra kampanjer eller utbildningsinsatser, t.ex. i Skogsstyrelsens kurspaket ”Bioenergi och kompensationsåtgärder” finansierat av Landsbygdsprogrammet. Utbildningen har även rönt intresse i övriga länder i Skandinavien. De breda fältkontakterna gav också många nya erfarenheter tillbaka till kursledningen. Erfarenheterna har tillsammans med kursmaterialet sammanställts till en handledning, Effektivare grothantering, som nu finns utgiven av Skogforsk.

**Fortsatt FoU behov**

Kampanjer av denna typ behöver upprepas för att effekterna inte skall avklinga. Ny teknik, nya metoder och nya förutsättningar för skogsbränsleproduktionen gör dessutom att utbildnings- och implementeringsarbetet ständigt behöver revideras.

Arbetsmodellen har fått gott genomslag. Liknande satsningar bör därför prövas för att underlätta introduktionen av effektiva metoder för klenträdsavverkning och för stubbskörd.

Motsvarande kampanj bör även genomföras gentemot bränsleförbrukarna. Ett arbete för att åstadkomma detta har påbörjats tillsammans med Svensk Fjärrvärmeförening och Värmeforsk.

# ARBETSMILJÖ OCH ERGONOMI I SKOGSBRÄNSLEHANTERINGEN

Rolf Björheden, Skogforsk

En kartläggning av arbetsmiljö och ergonomi pekar på att skogsbränsleverksamheten delar samma problem som mekaniserat skogsbruk i stort. Djupintervjuer antyder dock att det finns en del ökade arbetsmiljörisker vid skogsbränslehantering. Dit hör hög exponering för buller vid upparbetning samt för damm och sporer, särskilt vid arbete med lagrade grotbränslen. En del av de maskiner som används har dessutom långt kvar till de rekommendationer om godtagbara arbetsmiljöförhållanden som fastlagts för maskinarbete.

**Inom skogsbruket inträffar** en stor andel av tillbud och olyckor genom halkning, snubbling och fall i samband med underhåll och service av maskinerna samt genom förlorad kontroll över föremål eller handverktyg i samband med sådant arbete. Dessa orsaker står för nära 70 procent av de rapporterade arbetsolyckorna under perioden 2004-2008 medan förlorad kontroll över maskin eller transportutrustning i samband med produktionen står för drygt 10 procent. Att öka medvetenheten om riskerna vid underhållsarbete samt att underlätta detta är därför en viktig uppgift.

I befintlig arbetsskadestatistik går det inte att urskilja om det finns specifika arbetsmiljöproblem i skogsbränslehanteringen. För att få en uppfattning om detta genomfördes ett tjugofemtal intervjuer med entreprenörer, experter och arbetsledare. Djupintervjuerna antyder att skogsbränsleverksamheten i vissa avseenden innebär ökade arbetsmiljörisker jämfört med övrigt skogsarbete. Bland de tillkommande riskerna påpekas hög exponering för buller vid upparbetning samt för damm och sporer, särskilt vid arbete med lagrade grotbränslen. Vid stubblyftning och terrängtransport på orisade stickvägar kan hög exponering för helkroppsvibrationer förekomma. En möjlig riskfaktor är också en annorlunda och hög psykisk belastning vid avverkning med ackumulerande fällaggregat i ung tät skog med dålig sikt.

En del av de maskiner som används har dessutom långt kvar tills de uppfyller de rekommendationer som finns fastlagda för att uppnå godtagbara arbetsmiljöförhållanden vid maskinarbete, med t.ex. olämpligt placerade servicepunkter och liknande. Av kartläggningen dras slutsatsen att ergonomisk analys och granskning av förekommande arbeten kan minska problemen, öka arbetseffektivieten och bidra till en ökad attraktivitet för arbete med skogsbränslen.

**Granskning av arbetsmiljön vid skogsbränslehantering**

Kartläggningen har utförts inom ramen för ESS av Marit Lundström och forskargruppen Tema Arbetsliv vid Högskolan Dalarna under ledning av Ing-Marie Andersson och Gunnar Rosén. Studien visar att det är svårt att fånga specifika arbetsmiljörisker med nuvarande arbetsskadestatistik. Istället har riktade intervjuer genomförts för att få en samlad bild av arbetsmiljöläget. Kartläggningen visar att arbetsmiljöriskerna i skogsbränsleverksamhet inte kan undersökas genom de existerande statistikgrupperna i ISA (Informationssystem för arbetsskador) eller ur Arbetsmiljöverkets statistik över arbetsskador anmälda enligt 2 § AMF eller LAF. Siffrorna klumpas där samman med skogsbruk i allmänhet eller med lantbruk.

**Fortsatt FoU-behov**

För att få ett bättre grepp om arbetsmiljöproblemen i skogsbränsleverksamheten krävs bl.a.

- Systematiska, yrkeshygieniska riskbedömningar, främst avseende mögeldamm, bullerexponering och vibrationer.
- Anpassning av befintlig statistik så att risker inom skogsbränsleområdet kan särskiljas.

Parallellt bör ett systematiskt arbetsmiljöarbete startas, t. ex genom att,

- säkerhetskulturen utvecklas. Ett sätt att uppnå ett bättre riskmedvetande är att öka kunskaps- och erfarenhetsutbytet mellan entreprenörerna.
- uppdragsgivare ställer tydliga krav på leverantörers och anlitade entreprenörers säkerhet och arbetsmiljö.

Naturdränsle

# SYSTEM FÖR HANTERING AV GROT

Lars Eliasson, Skogforsk

Kundens mottagningsmöjligheter och krav på bränslet styr i hög grad vilka grotsystem som kan användas. I dag kan fem huvudsystem för att bearbeta och transportera grot identifieras. Dominerande system är flisning på avlägg och lösgrotshantering, men system med huggbil ökar. Vill kunden enbart ha skogsflis är det system med flisning på avlägg (eller hygge) samt huggbil som är aktuella. Kan sönderdelning ske hos mottagaren eller på terminal blir även system med lös eller buntad grot intressanta.

**Sönderdelning på avlägg**

Flisning på avlägg sker mestadels med traktormonterade huggar som antingen blåser flisen direkt i en container eller i en hög på marken med eller utan duk under högen. Flisen transporteras till mottagaren med lastväxlarbilar (containrar) eller kranförsedda flisbilar (flishög på marken). En stor fördel med traktormonterade huggar är att de inte är beroende av att grotvältan ligger direkt intill vägen och att de inte behöver stå på vägen då de arbetar. Deras stora nackdel är att kostnaden för flytten mellan objekt kan bli hög. De är ett konkurrenskraftigt alternativ främst på större objekt och/eller längre transportavstånd. Vid sidan av traktorhuggarna används ibland stora, stationära huggar på avläggen. Även krossar för sönderdelning på avlägg förekommer.

Flisning på avlägg med traktormonterad hugg är vanligt förekommande. Nackdelen med systemet är kostnaderna för flytt av utrustningen mellan olika objekt.

**Lösgrot**

Tack vare att sönderdelningskostnaderna hos mottagaren kan hållas låga samt avsaknaden av kostnader för att flytta maskiner (flishuggar) mellan de olika objekten, är lösgrotssystemet konkurrenskraftigt på korta till medellånga avstånd. Det låga lastutnyttjandet på i medeltal ca 22 tons nyttolast, gör dock att transportkostnaderna räknat per km är högre än för de övriga systemen.

Jämfört med tidigt 90-tal har nyttolasten ändå ökat med ca 20 procent. Studier som Skogforsk då utförde visade att lasterna kunde ökas med mellan 27-35 procent genom att under lastningen successivt komprimera lasten med hjälp av kranen. Eftersom den teoretiskt maximala lastvikten ligger mellan 26 och 30 ton finns fortfarande en potential för ökade lastvikter. Det förutsätter dock att groten kan komprimeras ytterligare. En fördel med systemet är att grotbilarna kan transportera flera olika sortiment; grot, träddelar, stubbar, buntar.

Lösgrotssystemet är konkurrenskraftigt på korta till medellånga avstånd. Lastutnyttjandet är dock en svaghet.

Huggbil – ett relativt nytt system.

**Huggbil**

Integrerade system för flisning och transport blir allt vanligare. Den vanligaste varianten är en huggbil med högtippande flisbehållare (balja) och bakmonterad hugg på lastbilen, som efter sig drar ett fyraxligt flissläp. Fördelen med huggbilar är att man inte har några flyttkostnader för flisningsmaskiner mellan objekten och att flisning och lastning är integrerat. Nackdelen är att den tunga flishuggen hela tiden måste transporteras, vilket reducerar nyttolasten. På korta till medellånga avstånd är huggbilarna ett konkurrenskraftigt alternativ för sönderdelning på avlägg. För att utnyttja huggbilarnas fördelar men minska nackdelarna har två hybridsystem utvecklats. Det ena är hugglinken, där huggen är monterad på en link, d.v.s. en vagn som kan kopplas mellan dragbilen och en trailer och som kan ställas av på avlägget fram till dess att flisningen är klar på objektet. Det andra är containerhuggbilen, där huggbilen är utrustad med en lastväxlare och flisar i containrar som körs in till mottagaren med andra lastväxlarbilar. Huggbilen fungerar då som en ren avläggshugg och utnyttjas för flistransport endast när sista lasset för dagen körs in till mottagaren.

### Buntning

Buntningssystemen utvecklades för att kunna öka nyttolasten och för att utan ändring eller komplettering kunna utnyttja de reguljära rundvirkesfordonen vid transport av grot i terräng och på väg. Grot i buntar har dessutom bättre lagringsegenskaper än skogsflis.

Buntning kan ske på hygget med buntningsutrustade skotare eller på avlägg med buntningsutrustade lastbilar. Buntning på hygget ger en betydligt lägre skotningskostnad jämfört med skotning av lösgrot. För att en avläggsbaserad buntare ska kunna konkurrera måste den därför producera buntarna betydligt billigare än den skotarbaserade. I dagsläget är det tveksamt om så är fallet. Skotarbaserade buntare har en hög produktivitet räknat per effektiv timme, men den har också en hög timkostnad. Sammantaget är dock kostnaderna per producerad enhet acceptabla under förutsättning att maskinutnyttjandet kan hållas högt. I praktiken varierar utnyttjandegraden emellertid stort mellan olika maskiner. Lastbilstransport av buntar sker idag med lösgrotsbilar eftersom risken för att det släpper material från buntarna under transport omöjliggjort ett säkert användande av rundvirkesbilar. Detta har medfört lägre nyttolast än förväntat och därmed högre transportkostnader. Försök pågår med en specialbyggd buntbil som är betydligt lättare än en konventionell grotbil. Förutom högt maskinutnyttjande och hög nyttolast krävs god planering för att minimera tiden för flyttning mellan objekt om ekonomin i buntsystemen ska bli acceptabel.

Buntning av groten underlättar lagring och transport.

**Fortsatt FoU-behov**

I projektet Grot-Systemstudier har befintliga system för grothantering beskrivits och deras för- och nackdelar undersökts. För kostnadsjämförelser mellan systemen har vi räknat på typfall. För rättvisande jämförelser under realistiska förhållanden krävs datorsimuleringar, där man utifrån samma förutsättningar (samma trakter och mottagare) kan beräkna kostnader och produktionsnivåer för leverans av skogsbränslen för vart och ett av systemen. Sådana simuleringar är planerade.

### Terrängflisning

Flisning på hygget med traktormonterad hugg är i dagsläget inte ett kostnadseffektivt sätt att producera skogsflis, men förekommer i viss utsträckning sommartid för att förse flisningsentreprenören med arbete under lågsäsong.

Flisning på hygget är ett system som tidigare var vanligt. Det kan inte ekonomiskt konkurrera med andra system, men kan vara motiverat av andra skäl.

FORSBYBODA

System utan flyttkostnad är mycket konkurrenskraftiga. De är okänsliga för objektsstorlek. Containerhuggbilen, är särskilt intressant eftersom den på längre avstånd kan övergå till att arbeta avläggsbaserat, med flera lastväxlarfordon som gruppkör emot huggbilen. Då blir den även mindre känslig för transportavstånd.

# SÖNDERDELNING OCH TRANSPORT

## – NYCKLAR TILL EFFEKTIVARE SKOGSBRÄNSLESYSTEM

Rolf Björheden, Skogforsk

Sönderdelning och transport är tunga kostnader vid grotproduktion. Rätt val av teknik och plats för sönderdelning sänker kostnaderna. Bättre metoder och ny teknik gör att system utan flyttkostnad, t ex lösgrotsbil eller huggbil, på små objekt kan sänka kostnaden med 20-40 procent jämfört med flisning på avlägg. Systemen är högintressanta vid uttag på privatskogsbrukets hyggen och i södra Sverige. Även på stora objekt är lösgrots- och huggbilssystemen konkurrenskraftiga upp till c:a 100 km transportavstånd.

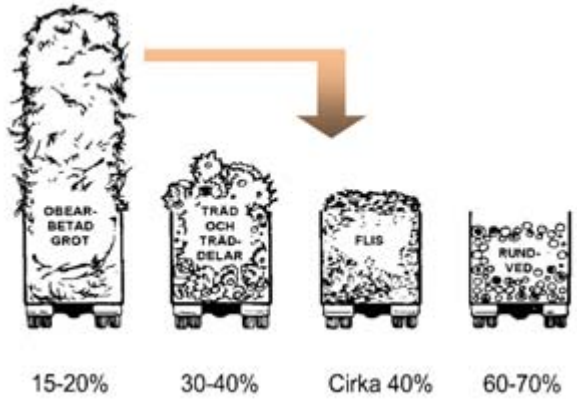
**Ett mycket stort antal olika kombinationer** av transport- och sönderdelningsteknik har studerats och analyserats. Analysen visar att de olika kombinationerna kan definieras som tre, principiellt olika system. De uppvisar olika känslighet för transportavstånd och objektstorlek. De tre systemen är:

A. System som bygger på att groten sönderdelas på hygget.
B. Flisning vid avlägg med hugg/kross.
C. System utan flyttkostnad, d.v.s. direktkörning av lösgrot eller av flis med huggbil (ev. hugglink).

Resultaten visar att:

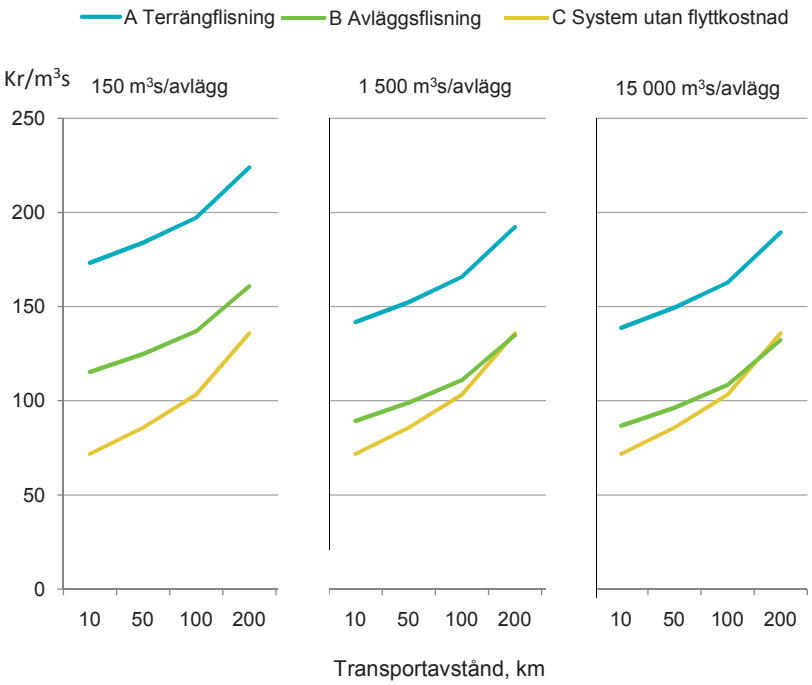
- Sönderdelning på hygget är dyrt och kan endast motiveras av andra än ekonomiska skäl.
- System med avläggsbaserade huggar är konkurrenskraftiga på långa avstånd (>100 km). På medelstora till stora objekt är stora huggar eller krossar att föredra.
- System utan flyttkostnad är överlägset för huvuddelen av råvaran, särskilt på små objekt.

Systemen utan flyttkostnad har stor konkurrenskraft. Lösgrotsystemets konkurrenskraft är dock mycket beroende av den lastvikt fordonen uppnår. För att få höga nyttolaster krävs god metodvana hos förarna vid lastning och en väl utförd skotning/vältläggning. Lösgrotsystemet kräver givetvis också att groten kan flisas hos kunden eller vid en terminal. För containerhuggbilar (och hugglink, med avställbar huggenhet) kan man på stora objekt gruppköra emot huggen med vanliga flis-/containerbilar. Detta bör öka systemets konkurrenskraft ytterligare, men har ännu ej undersökts.




TECKNING: SIGURD FALK EFTER EN IDÉ AV JAN ERIK MATTSSON

Alla lassen innehåller lika mycket biomassa. Grot är svårhanterat och mycket skrymmande. Sönderdelning i början av transportkedjan, t ex genom flisning med huggbil, gör materialet mindre skrymmande och mera hanterbart men kostar mer än centraliserad upparbetning.




Nettokostnad, kr/m³s för de tre systemen vid varierande objektsstorlek och transportavstånd.

**Fortsatt FoU-behov**

I projektet Effektivare sönderdelning har Skogforsk studerat ett stort antal olika kombinationer av transport- och sönderdelningsteknik för sortimentet grot. Våra analyser antyder att ekonomiska drivkrafter påverkar utvecklingen mot mer centraliserad sönderdelning av skogsbränslet och krossning istället för flisning. En sådan utveckling ger billigare skogsbränslen, men ställer också krav på mottagning med sönderdelnings- och sållningsmöjligheter hos kunderna. Effekterna är således komplexa och behöver utredas noggrant. På en del objekt kommer skogsbruket att vilja ta ut även stubbar, vilket kommer att påverka teknik- och systemvalet. Det är önskvärt att kunna hantera hela skogsbränslevolymen vid ett tillfälle. En intressant lösning som vi hoppas kunna studera i framtiden är grovkrossning av både grot och stubbar vid samma avlägg.

FOTO: THOMAS ADOLFSEN/SKOGEIbild

# DIREKTSKOTAD GRÖN GROT

## – STORA MÖJLIGHETER OCH MINDRE PROBLEM ÄN VÄNTAT

Rolf Björheden, Skogforsk

Fördelarna med uttag av färsk grot i samband med avverkningen i jämförelse med att lagra och torka den på hygget är flera. Groten är enklare att lasta, vilket innebär högre prestation. Mer av groten på hygget kan tas tillvara. Säsongen förlängs och på små objekt kan samma skotare användas för att köra ut både rundvirke och grot. Allt detta leder till sänkta kostnader. En nackdel med färsk grot i jämförelse med hyggestorkad är den högre fukthalten. I ett försök har fukthalten hos grot som vältlagts färskt jämförts med grot som först torkat på hygget och därefter lagts i välta. Resultaten visar att skillnaderna i fukthalt utjämnas under lagringstiden. Vid leveranstidpunkt var fukthalten endast c:a 3 procent högre hos grot som vältlagts färsk. Kunderna har inte heller upplevt några problem vid eldning av denna grot. Kemiska analyser återstår att göra.

**I samarbete med** Södra Skogsenergi och Linnéuniversitetet har Skogforsk testat direktskotning av grön grot vid eller i nära anslutning till slutavverkningen. Viktiga drivkrafter för grön grot istället för att lagra den på hygget är förbättrad logistik, förenklad produktionsplanering och att hygget snabbare blir ”rent”, vilket bl.a. underlättar efterföljande skogsvårdsåtgärder. Nackdelen är att NOx-halterna troligtvis blir högre vid förbränning och att behovet av askåterföring eller vitaliseringsgödsling av bestånden ökar.

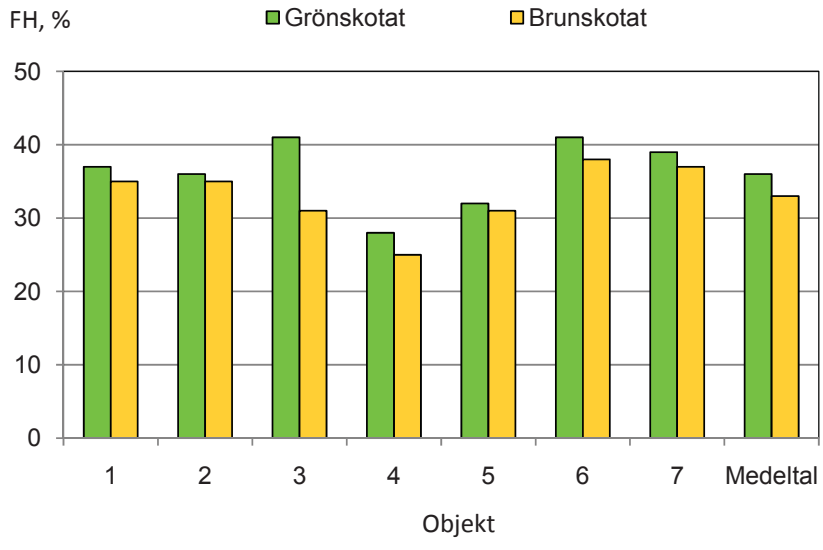
Försöket lades ut säsongen 2008-09 och omfattar nära 3 000 ton TS fördelat på 30 objekt. För att försöka fånga effekterna av olika nederbördsklimat valdes objekt ut i tre områden i Sverige; på västkusten, på sydsvenska höglandet och på östkusten. All grot har vältlagrats i täckt välta och flisats för kommersiell leverans av bränsle under perioden november-januari 2009-10.

I ett examensarbete har torkningsförloppet i vältorna under lagringen följts med tre mätningar av fukthalten samt en avslutande mätning vid leveranstidpunkten. Examensarbetet visar att det är viktigt att vältan läggs upp med hänsyn till torkningsförhållandena, d.v.s. fritt, torrt och exponerat för sol och vind. Jämförelse av andelen barr i den grönskotade respektive brunskotade groten undersöks för närvarande. Vältorna med grön grot var vid leverans fuktigare än de som lagts upp som brun grot, men skillnaden var ganska liten. På objekten där hälften av groten togs ut i grönt skick var fukthalten i den gröna groten i medeltal 36 procent medan den i groten som togs ut i brunt skick låg på 33 procent. En jämförelse av samtliga objekt som ingått i försöksserien, d.v.s. även de med hyggestorkad, brun grot från objekt i samma område, visar på mellan 0-3 procent högre fukthalt i den grot som vältlagts i grönt skick. Kunderna som tog emot skogsbränslet har inte heller upplevt några egentliga problem vid eldning av den vältlagda gröna groten. Slutsatsen blir att det vid sidan av metodutveckling för tillvaratagande av hyggestorkad grot även är intressant att vidareutveckla metoder för direktskotning av grön grot. Skogsbränslet blir aningen sämre, men sänkta kostnader och ökat uttag kompenserar för kvalitetsförlusterna.

| Fraktion | Färsk grot, % | Brunskotad lagrad, % | Grönskotad lagrad, % |
|---|---|---|---|
| Grenar, kvistar etc. >3 mm | 78 | 80 | 74 |
| Finfraktion <3 mm exkl. barr | 5 | 16 | 18 |
| Barr | 17 | 4 | 8 |

Barrandelen blir något högre i grönskotad, lagrad grot. Fraktioner i lagrad brun- resp grönskotad grot samt, som jämförelse, i färsk grot av gran. (Preliminära resultat från Bengt Nilsson, Linnéuniversitetet). Ytterligare analyser av bränslekvaliteten kommer att omfatta askhalt, kväve, klor mm.

Skotning av grön grot frilägger hygget tidigare, underlättar planeringen, ökar uttaget och höjer prestationen i skotningen. Trots något lägre bränslekvalitet är det därför fördelaktigt om en viss del av produktionen kan tas ut i färskt (grönt) skick.




Jämförelse av fukthalt i vältlagd färsk (grön) grot och vältlagd, hyggestorkad (brun) grot vid leverans till kund. Staplarna 1-7 visar skillnaderna för respektive objekt där grön grot togs ut på halva arealen och resten efter lagring på hygget (brun grot). Medeltalet gäller samtliga objekt, d.v.s. även de där jämförelsen gjordes objektvis ingår.

**Fortsatt FoU-behov**

Det grönskotade bränslets kvalitet och egenskaper vid eldning behöver studeras mera. Skogforsk och Värmeforsk diskuterar för närvarande ett samarbete kring dessa frågor. Förbränningstekniska och –kemiska kunskaper finns i hög grad, men de måste föras ut till samtliga användare.

Kompletterande fältförsök för att kontrollera hållbarhetsaspekterna (näringsförlust, askåterföring etc.) kan behövas. Särskilt krävs att de driftstekniska frågorna kring tillvaratagande av grön grot studeras noggrannare. Metoder och rutiner måste utformas så att de driftstekniska fördelarna (enklare planering, snabbare färdiga objekt, färre maskinflyttar etc.) kan tas till vara, men även för att kontrollera att slutsatserna från de genomförda studierna håller för andra delar av landet.

# INTEGRERAD SKÖRD AV RUNDVIRKE OCH GROTBUNTAR

Isabelle Bergkvist, Skogforsk

Idén med att tillreda grotbuntar parallellt med rundvirkesavverkningen på en kombinerad skördare/buntare analyserades med positivt resultat redan för 10 år sedan. Idag finns även möjlighet att utnyttja avverkningssystem med direktlastning (Bestensystemet) för detta, vilket skulle kunna göra det än mer intressant. En nyligen genomförd analys visar att om bunttillredningen kan ske autonomt i Bestensystemet fås en uppskattad kostnadsbesparing på ca 30 procent. Maskinernas dieselförbrukning vid tillvaratagandet av grot i integrerade system är bara en tiondel till en tredjedel jämfört med om det görs i en separat operation.

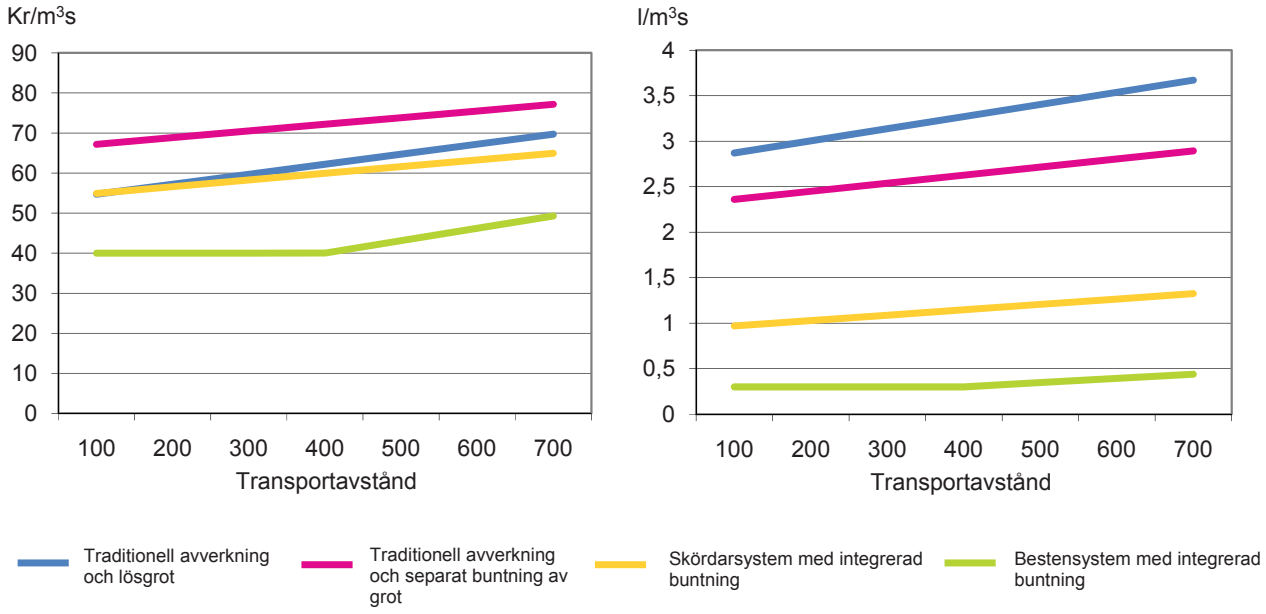
**Fyra system för avverkning** av rundvirke och tillvaratagande av grot har jämförts:

- Separata operationer för rundvirkesavverkning och tillvaratagande av lösgrot.
- Separata operationer för rundvirkesavverkning och buntning av lösgrot.
- Integrerad rundvirkesavverkning och buntning av grön grot med konventionell skördare.
- Integrerad rundvirkesavverkning och buntning av grön grot med Bestensystemet.

Jämförelsen omfattar produktionskostnad och maskinernas bränsleförbrukning vid tillvaratagande av grot fram till avlägg samt sönderdelning av bränslesortimentet (vidaretransporten är inte medräknad). De integrerade systemen har belastats med en marginalkostnad som avser förlorad produktion i och med att hanteringen av bränslesortimentet kan antas påverka rundvirkesavverkningen något. Denna påverkan har dock antagits vara liten, vilket är en förutsättning för att de integrerade systemen ska vara intressanta för skogsbruket. Dessutom förutsätts hantering av grön grot vid buntning av skogsbränslesortimentet, vilket innebär något ökade kostnader p.g.a. skogsbränslets högre vattenhalt, t.ex.

**Bestensystemet**

Bestensystemet består av en förarlös avverkningsmaskin som fjärrstyrs från en kurir, vilken kan beskrivas som en skotare med sväng- och tiltbart lastutrymme. Besten avverkar och upparbetar träden som direkt lastas på kuriren. I de flesta fall används två kurirer som växlar mellan att styra avverkningsenheten och att transportera ut virket till avlägg. I och med att avverkningsenheten saknar förarhytt så finns det plats för ytterligare utrustning i form av matningsbord och komprimeringsutrustning för buntning av lösgrot. Transporten av buntar kan ske mycket kostnadseffektivt då kurirerna enkelt kan lägga 2-3 buntar överst på lasset när de transporterar rundvirket till avlägget.




Till vänster produktionskostnad för tillvaratagande av grot för olika system och transportavstånd till avlägg, kr per m³s (flis). Till höger maskinernas dieselförbrukning vid tillvaratagande av grot, liter per m³s.

dyrare transport och lägre energiinnehåll i jämförelse med samma volym lagrad och torkad grot.

Integrerad buntning med Bestensystemet hade den lägsta produktionskostnaden. Anledningen till det är att produktionen kan effektiviseras i och med direktlastningen och att lastning/-lossning av buntar kan ske i stort sett utan kostnad när kurirerna transporterar rundvirke eller står i vänteläge. På grund av de extra arbetsmomenten hade systemet med separat buntning den högsta produktionskostnaden. Det bör då noteras att buntning innebär förenklad hantering och administration i påföljande led, vilket således inte medräknats här.

Bränsleförbrukningen vid tillvaratagande av grot skulle kunna sänkas genom att använda integrerade system. Dieselförbrukning per m³s skogsbränsle var i de integrerade systemen betydligt lägre jämfört med de traditionella systemen. Anledningen till detta är att färre maskiner och arbetsmoment krävs i och med integrering och direktlastning av bränslesortimentet.

Bränsleförbrukningen är lägre i systemet med separat buntning än i det traditionella systemet med separat avverkning och lösgrotshantering beroende på att buntad grot medger effektivare hantering, bl.a. vid sönderdelning på avlägg.

Nackdelen att integrera rundvirkesavverkning och tillvaratagande av grot är en lägre produktionstakt räknat per enhet än om produktionen av rundvirke och skogsbränsle sker med specialiserade maskiner. System med separata maskiner är dessutom mer flexibla och mindre känsliga för stillestånd och låg TU (teknisk utnyttjandegrad). I de integrerade systemen avgörs prestationen i buntframställningen av bränslevolymen på de träd som avverkas. Är skogsbränslevolymen per stam låg kommer buntenheten att utnyttjas ineffektivt vilket resulterar i få buntar i timmen jämfört med separat buntning (där man kan hålla en jämn produktionstakt oavsett hur beståndet har sett ut). Vidare förutsätter det att grön grot kan tas ut. Detta ska vägas mot de betydande fördelar som integrerade system har med lägre produktionskostnader och endast bråkdelen av den bränsleförbrukning, och därmed miljöpåverkan, som separata system har.

**Fortsatt FoU-behov**

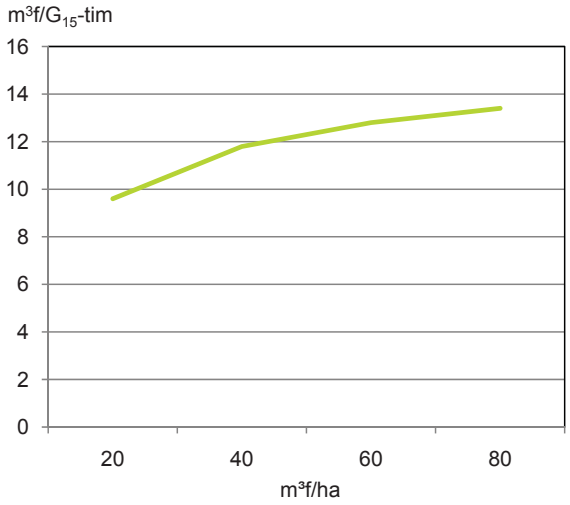
I den här jämförelsen har bara integrerade system för buntning av grot analyserats men det finns naturligtvis även möjlighet att skapa system där flisning av skogsbränslet integreras med avverkningen av rundvirket. Fördelarna med sådana system blir ungefär desamma som för den integrerade buntningen, med den skillnaden att flisningen kommer att påverka transport- och lagringsmöjligheter på ett annat sätt än buntningen gör.

# PRESTATIONS-NORMER FÖR EFFEKTIV GROTSKOTNING

Torbjörn Brunberg & Lars Eliasson, Skogforsk

Vad är effektiv grotskotning? Utan objektiva prestationsnormer, vilket saknats för skotning av grot, är detta mer eller mindre omöjligt att avgöra. Skogforsk har därför arbetat fram en preliminär prestationsnorm som möjliggör rättvisande jämförelser mellan olika entreprenörer och skogsföretag. Med förbättrade skattningar av grotmängden på hygget med hjälp av skördardata, vilket Skogforsk också arbetar med, kommer prestationsnormerna att förbättra tidsplanering och effektivisera utnyttjandet av grotskotarna.

**Produktiviteten vid skotning** av grot har ökat under de senaste 15 åren. En bidragande orsak är att man ökat lastvikterna från 5-8 ton till 8-12 ton genom användning av bättre utformade lastutrymmen på grotskotarna. Eftersom de flesta grotskotare har en tillåten lastvikt på 14-16 ton är dock fortfarande lastutnyttjandet lågt, endast 65 till 80 procent. Det finns också företag som använder äldre teknik och där-




Exempel där prestationsnormen har använts för att beräkna skotningsprestationen i förhållande till mängden grot per ha.

med har både lägre lastutnyttjande och lägre produktivitet än vad dagens teknik medger. Det är i dagsläget svårt att göra rättvisande prestationsjämförelser mellan olika skotningsentreprenörer då variationerna i lastvikt och mellan objekt gör att spridningen i prestation är stor. Dessa prestationsvariationer innebär att det är svårt att uppskatta kostnaderna för arbetet och planera hur lång tid skotningen av ett objekt kommer att ta.

För att få fram tillförlitliga tids- och kostnadsuppskattningar för grotskotningen har en preliminär prestationsnorm arbetats fram. Med hjälp av tidsåtgången för lastning och lossning, körning och övrig verktid kan prestationen beräknas. De ingående variablerna i normen är:

Grotuttag per ha
Avstånd för terräng- och basvägskörning
Ytstruktur och lutningsförhållanden på objektet
Laststorlek

Figuren är ett exempel på hur prestationsnormen kan användas för att beräkna sambandet mellan mängden grot på ett objekt och grotskotarens förväntade prestation.

Exemplet visar att när grotmängden på objekten ökar från 20 till 80 m³f per ha är prestationsökningen ca 30 procent.

Prestationsnormen kommer, tillsammans med det pågående arbetet att förbättra skattningarna av grotmängden på hygget utifrån skördardata, att ge en betydligt bättre tidsplanering för grotskotningen och därigenom ett effektivare utnyttjande av grotskotarna. Det ger också möjligheter till rättvisande jämförelser mellan olika arbetslag och mellan olika företag (benchmarking). Därmed underlättas en bred spridning av goda erfarenheter från de effektivaste entreprenörerna och maskinlagen.

**Fortsatt FoU-behov**

För närvarande arbetar vi vidare med att ta fram data som visar hur prestationen påverkas om den grot som skotas är nyavverkad (grön) eller hyggestorkad (brun) för att under hösten kunna infoga detta i prestationsnormen. Arbetet med prestationsnormen kommer att avslutas vid årsskiftet.

# UPPFÖLJNING AV JOHN DEERE GROTBUNTARE

Lars Eliasson, Skogforsk

Driftstatistik för John Deere grotbuntare 1490D har samlats in och analyserats. Totalt ingår 92 objekt och 64 500 buntar i statistiken. Maskinen producerade 28 buntar per timme effektivt arbete ($G_0$-timme). Den tekniska utnyttjandegraden (TU) var 78 procent. Prestationen var i nivå med vad tidigare tidsstudier visat. Men TU var högre vilket är mycket positivt för totalkostnaden. Prestationen var 14 procent lägre under vintern än vid barmark och TU sjönk på objekt där få buntar kunde produceras.

Driftstatistiken omfattar en maskin med fem förare som arbetat på 92 olika objekt. Totalt producerades ca 64 500 buntar med en längd av 3,0 m. Buntarna producerades mellan februari och mars 2009 i Norrbotten under vinterförhållanden och i Mellansverige samma år under barmarksförhållanden. Flyttiderna mellan objekt har inte registrerats och ingår således inte i analyserna av driftstatistiken.

Produktiviteten var i genomsnitt 27,9 buntar per $G_0$-timme, vilket är i nivå med resultaten från tidigare tidsstudier av buntningsmaskiner. Produktiviteten ökar med ökad objektstorlek samtidigt som variationen minskar. Produktiviteten var 14 procent lägre vid buntning under vintern (25,3 buntar/$G_0$-timme) än vid buntning under barmarksförhållanden (29,3 buntar/$G_0$-timme). Det går inte utifrån driftstatistiken att avgöra vad som orsakar variationerna i produktivitet. För det krävs mer information om objekten beträffande grotmängd per ha, andel av objektets areal där buntning skett, trädslagsblandning och kvalitet på grotanpassningen vid slutavverkningen, vilket saknas i statistiken.

Den tekniska utnyttjandegraden (TU) var 78 procent, vilket i jämförelse med tidigare studier är högt. (TU är här beräknat på $G_0$-tiden.) Även om det är stor variation i TU mellan objekten, låg den för den övervägande andelen (85 procent av objekten) mellan 70-90 procent. Lågt TU förelåg främst på objekt där få buntar kunde produceras. Dessa objekt drabbas dessutom av en relativt hög flyttid, vilket gör att maskinens utnyttjande för buntningsarbete blir lågt. Driftsstatistiken tyder därför på att små objekt bör planeras mycket noggrant så att inte tidsåtgången för flyttning, planering och igångsättning av arbetet blir oproportionellt stor. Det var inga skillnader i TU mellan barmarks- och vinterförhållanden. Det går inte heller att se någon koppling mellan produktiviteten per $G_0$-timme och den tekniska utnyttjandegraden av maskinen.

Ett högt utnyttjande i kombination med en hög prestation gör att buntningskostnaden, inkluderat 2,5 timmes flytt mellan objekt, blir ca 50 kr per MWh. För att buntningssystemet skall vara konkurrenskraftigt gentemot övriga system för grothantering måste buntningskostnaden uppvägas av en motsvarande besparing i terräng-, sönderdelnings- och vidaretransportkostnad, alternativt ett ökat värde på den levererade produkten.

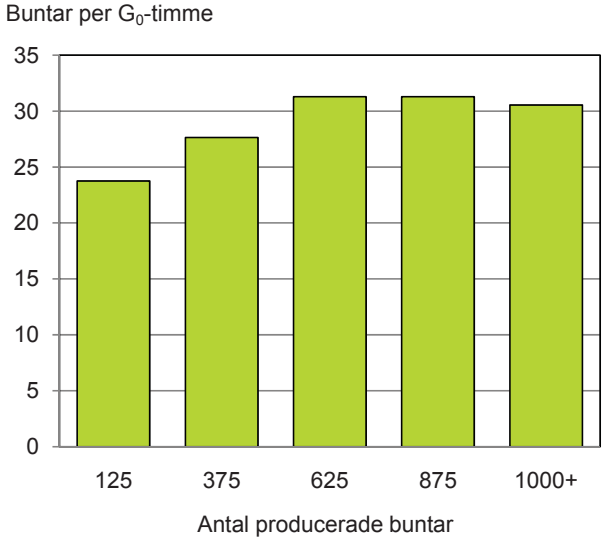
## Grotbuntare – en smart logistiklösning

John Deeres grotbuntare är utvecklad för att effektivisera transporterna av grot genom att komprimera, binda ihop och kapa groten i fasta hanteringsenheter. Buntningsprocessen är kontinuerlig, vilket innebär att grotens sammansättning, t.ex. långa toppar, inte utgör några begränsningar. Buntaren samlar ihop groten med hjälp av kranen och placerar den på ett inmatningsbord. Groten komprimeras med hjälp av armar som formar den till en rund bunt, varpå den binds ihop och kapas i lämplig längd, vanligtvis 3 m.

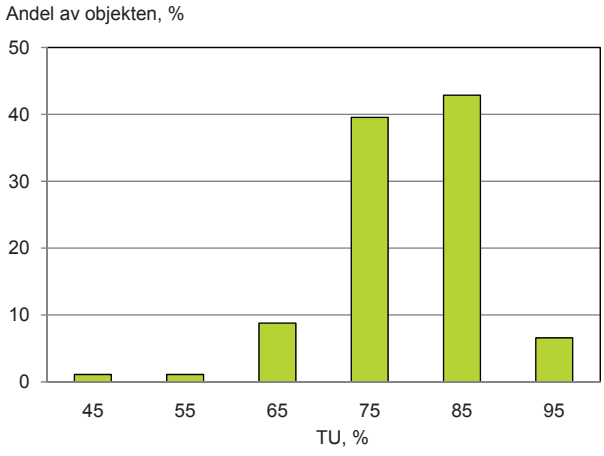
Buntarna möjliggör en rationell hantering av groten. Transport av buntarna kan göras med konventionella rundvirkesfordon. Sönderdelning kan i många fall ske hos mottagaren med hjälp av eldrivna krossar istället för att groten flisas i skogen med dieseldrivna huggar, vilket minskar miljöpåverkan. Buntar torkar väl och har goda lagringsegenskaper om de hanteras på rätt sätt.

## Fortsatt FoU-behov

Jämförelser av buntningssystemet med andra system för uttag av grot är planerade att genomföras inom en snar framtid. På sikt bör studier göras för att relatera buntarens prestation till olika påverkande faktorer såsom exempelvis grotkoncentration och typ av grot. Eftersom buntningsmaskinen har hög prestation är god arbetsledning och planering särskilt viktigt om produktionen ska kunna hållas på en hög nivå. En fråga i det sammanhanget som bör utredas är om andra än stora aktörer kan klara detta och om grotbuntning därför bara är ett system som är intressant för dem.




Produktivitet under barmarksförhållanden i förhållande till det totala antalet buntar som kan produceras på objektet, buntar per $G_0$-timme.




Spridningen i grotbuntarens tekniska utnyttjandegrad (TU). Staplarna avser klassmitt.

# UNDERVÄXTRÖJNING

Lars Eliasson & Tomas Johannesson, Skogforsk

Vid förrröjning av underväxten i slutavverkningsbestånd sänks kostnaden för avverkning och grotskotning samt förbättras kvaliteten på groten. En studie vi genomfört visar dock att kostnadssänkningen inte uppväger kostnaden för röjningsinsatsen.

**I slutavverkningsbestånd med** mycket underväxt (små träd som inte ger gagnvirke eller som inte är lönsamma att avverka) kan avverkningsarbetet försvåras p.g.a. av att skördarförarens sikt försämras och hindrar ett effektivt utnyttjande av skördaraggregatet. Detta kan öka tidsåtgången och därmed avverkningskostnaderna. För att undvika detta kan man före avverkningen göra en underväxtröjning med röjsåg. I skogsbruket varierar synen på nödvändigheten av underväxtröjning. En del röjer inte alls, andra utför regelmässigt underväxtröjning när antalet småträd per ha överstiger ett visst antal.

När grot tas ut efter slutavverkning måste skördarföraren ta hänsyn till detta när han avverkar, d.v.s. så långt möjligt arbeta på ett sådant sätt att toppar och grenar hamnar i högar och undvika att köra över dem med maskinen. Om slutavverkningsbeståndet inte är underväxtröjt kan skördarförarens arbete ytterligare försvåras i jämförelse med om enbart rundvirke tas ut. Även vid uttransport av grot försvåras skotarförarens arbete av underväxten. Av den anledningen är kraven på att underväxtröjning ska ha utförts större vid

grotanpassad avverkning än när enbart rundvirke tas ut. För att undersöka hur mycket prestationen påverkas av underväxten vid grotuttag studerades skördarförarens och grotskotarförarens arbete vid varierande antal småträd i beståndet. Studien genomfördes i samarbete med SCA Skog AB.

Resultaten från studien visar att avverkningen och grotskotningen visserligen försvårades av underväxten, men att det inte ens i alternativet med 3000 småträd per ha rent kostnadsmässigt lönade sig att röja bort underväxten. I jämförelse med att all underväxt röjts bort ökade i detta alternativ kostnaden per ha för avverkningen med 1300 kr och för grotskotningen med 160 kr. Samtidigt kostade underväxtröjningen 1700 kr per ha och intäkten för rundvirket minskade med 420 kr. Även om småträden inte är lönsamma att avverka så tas i praktiken ändå en del av dessa och ger en viss volym klen massaved, vilket inte är fallet i underväxtröjda bestånd. Totalkostnaden blev 660 kr högre per ha om man underväxtröjde.

| Antal underväxt-stammar | Skördar-prestation | Grotskotar-prestation |
|---|---|---|
| 0 | 100 | 100 |
| 1 000 | 93 | 96 |
| 2 000 | 89 | 96 |
| 3 000 | 85 | 96 |

Relativ prestation för skördare och grotskotare vid olika antal underväxtstammar.

# FÖRAREN AVGÖR PRESTATION OCH VIBRATIONER VID STUBBRYTNING

Henrik von Hofsten, Skogforsk

Studier visar att förarens arbetssätt har störst påverkan på både prestation och helkroppsvibrationer vid stubbrytning. Aggregatet och grävmaskinens storlek spelar mindre roll. För att utveckla rättvisande prestationsnormer krävs fortsatt forskning.

Pallari 140 är ett klippande aggregat. Den monteras enkelt i grävmaskinen skopfäste och kräver således ingen specialkonstruktion för infästningen.

**Den teknik som används** vid stubbrytning på hygget har inte genomgått några större förändringar sedan 80-talet. Den utvecklingen som trots allt ändå pågår sker främst i Finland. De studier av stubbrytning vi genomfört har därför i första hand syftat till att kartlägga prestationsnivåer och viktigaste påverkande faktorer samt förarens exponering för helkroppsvibrationer. Ett mål har även varit att lägga grunden för utveckling av prestations- och bortsättningsnormer.

Dagens stubbbrytningsggregat kan delas in i tre grupper; Grep, Klipp och Rotskärande, var och en med sina för- och nackdelar. Som basmaskiner används i praktisk drift uteslutande bandgående grävmaskiner på 20-25 ton. De tre teknikerna för stubbrytning finns representerade bland de sex olika aggregat för stubbbrytning som har studerats.

### Grep

Grepen ser ut som en vanlig grävmaskinskopa men har längre tänder än en sådan. En av tänderna är ofta längre än de övriga för att underlätta klyvning av stubben innan den lyfts. Till fördelarna räknas att den är lätt, ca 800 kg, och därmed lätthanterlig. Grepen saknar rörliga delar vilket gör den förhållandevis billig i inköp och enkel att montera i grävmaskinernas vanliga skopfästen. Med denna infästning kan skopcylindern användas när stubbdelarna skakas för att få bort föroreningar. En nackdel grepen har är att om stubben lossnar ur marken innan den delats är det mycket svårt att dela den i efterhand.

I studierna har i huvudsak den finska Aalto-grepen använts men även den svenska Biorex 30 har studerats. Aalto-grepen tillverkas i norra Finland av en mindre lokal tillverkare och Biorex 30 (senare omdöpt till Ecorex 30) av Umeå Försäljning AB.

Aalto-grepen har den konstruktionsmässigt enklaste lösningen på ett stubbaggregat. Den monteras direkt i skopfästet och kräver således ingen extra hydraulik.

Fräsen lösgör stubben genom att fräsa av sidorötterna med den roterande trumman.

**Klipp**

De klippande aggregaten finns i ett antal varianter. Grundkonstruktionen för dem alla är ett kraftigt stativ med två grävtänder som sätts under stubben och en rörlig kniv som klipper itu stubben. Klippkraften är stor, ofta mer än 20 ton. Till fördelarna hör just den rörliga kniven som oavsett om stubben sitter fast eller har lossnat kan klippa isär den. Den kan också användas för att gripa tag i och plocka upp stubbdelar från marken. Nackdelen är att klipparna är tunga (1 200-2 500 kg) och har en mer eller mindre specialiserad infästning i basmaskinen, vilket kräver extra hydrauluttag i kranspetsen. Infästningen innebär också att rensning av föroreningar i stubbveden ofta måste ske genom att skaka hela vipparmen, med kraftiga vibrationer i maskinen som följd.

Till de klippande aggregaten räknas här CBI samt Pallariaggregaten. CBI tillverkas i USA av Continental Biomass Industries, Inc. men säljs i Sverige av Allan Bruks AB. Pallariaggregaten tillverkas i Finland av Tervolan Konepaja OY i Kaisajoki.

**Rotskärande**

Den grundläggande idén med rotskärande aggregat är att minska kraftbehovet vid lösgörandet av stubben och samtidigt minska markpåverkan. Istället för att slita av rötterna med en kraftig omrörning av marken som följd, skär eller klipper rotskärande aggregat av sidorötterna innan stubben lyfts.

I dagsläget finns endast ett praktiskt fungerande aggregat. Det är den s.k. Fräsen som finns i prototyputförande och som ännu inte kommit ut på marknaden.

Förutom mindre markpåverkan är en fördel med rotskärande aggregat att de bör gå att montera på mindre och smidigare basmaskiner än de traditionella grävmaskinerna.

Nackdelen är att aggregatens konstruktionen blir mer komplicerad med fler hydraulikfunktioner än för de som använder grep- eller klippteknik. Dessutom tas mindre stubbved tillvara jämfört med de andra aggregaten eftersom rötterna skärs av relativt nära stubben.

Fräsen tillverkas av Lennart Nyman, Trångsviken.

**Studieresultat**

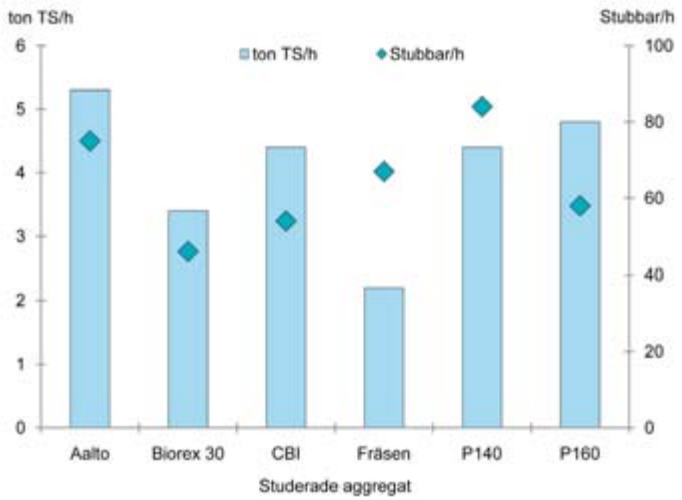
Prestationen vid stubbrytning varierade stort, mellan 40 och drygt 100 stubbar per timme. Genomsnittet var 64 stubbar per timme, vilket motsvarar 3,8 ton torrsubstans per timme (ton TS/h). I några fall var prestationen mer än 7 ton TS/h och i något enstaka fall mindre än 2 ton TS/h. Föraren hade störst påverkan på prestationen medan aggregat och basmaskinens storlek spelade mindre roll.

Erfarenheten hos föraren har stor inverkan på prestationen men också på hur stor risken är att utsätta sig för kraftiga helkroppsvibrationer. Det tar tid att lära sig ”läsa stubbarna” och att utveckla rätt arbetsmetod. Fel metod kräver onödigt mycket kraft och ökar risken för att greppet om stubben ska lossna. Resultatet blir kraftiga skakningar och slag. En rätt greppad stubbe kan lossas lugnt och skakningsfritt.

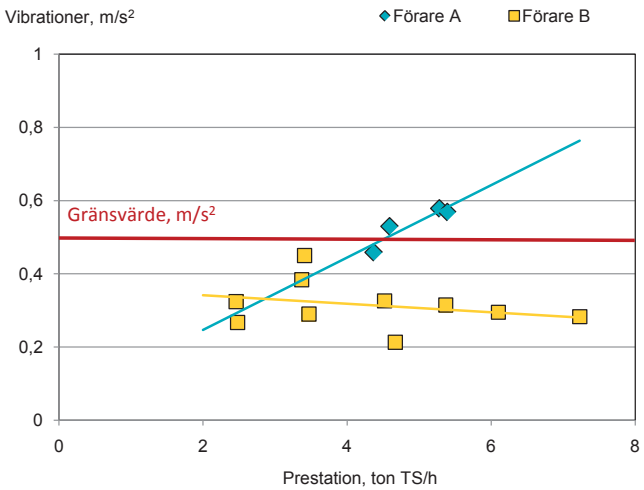
Ett hjälp- och styrmedel för att utveckla tekniken och metoderna för stubbrytning är rättvisande prestations- och bortsättningsnormer som kan ligga till grund för ersättning och jämförelse mellan olika entreprenörer. Studieresultaten är en första grund för att kunna skapa en sådan norm, men fler studier och undersökningar krävs.

| Namn på aggregat | Typ av aggregat | Studerade antal förare | Antal studieytor | Min-Max, stubbar/h | Medeltal stubbar/h | Min-Max, ton TS/h | Medeltal, ton TS/h |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aalto | Grep | 3 | 10 | 44–139 | 75 | 2,5 –7,2 | 5,3 |
| Biorex 30 | Grep (med viss klippmöjlighet) | 1 | 2 | 41–52 | 46 | 3,2 – 3,7 | 3,4 |
| CBI | Klipp | 1 | 3 | 49–65 | 54 | 4,2 – 6,0 | 4,4 |
| Fräsen | Rotavskärande | 1 | 4 | 36–107 | 67 | 1,6 – 3,0 | 2,2 |
| Pallari 140 | Klipp | 2 | 6 | 54–153 | 84 | 4,0 – 6,1 | 4,4 |
| Pallari 160 | Klipp | 1 | 2 | 48-72 | 58 | 4,6 – 5,1 | 4,8 |

Studerade aggregat och prestationer uttryckt som antal stubbar respektive ton torrsubstans per timme.




Resultat vid studier av sex olika aggregat för stubbskörd. Prestationen visas dels som ton torrsubstans per timme (ton TS/h), dels som antal stubbar per timme. Observera att studierna är gjorda vid olika tillfällen så direkta jämförelser bör undvikas.




Exempel på helkroppsvibrationer för två förare som arbetade med samma typ av basmaskin och aggregat. Förare A är en van skogsmaskinförare, men orutinerad när det gäller stubbrytning. Förare B är mycket rutinerad och van. Figuren visar dagsdosen av de vibrationer (m/s²) dessa utsattes för i förhållande till prestationen, ton TS/h. Röd linje markerar gränsvärdet för dagsdosen vibrationer (0,5 m/s²). Över den nivån måste åtgärder sättas in enligt arbetsmiljölagen. Av figuren framgår tydligt att det inte finns någon stark koppling mellan prestation och graden helkroppsvibrationer. Båda dessa faktorer är starkt förarberoende.

**Fortsatt FoU-behov**

- Kompletterande studier av olika terrängfaktorers påverkan på prestationen.
- Utarbetande av prestationsnorm för stubblyftning.

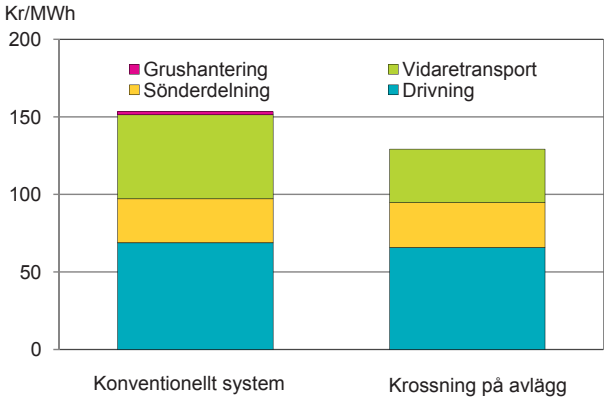
# GROVKROSSNING AV STUBBAR PÅ AVLÄGG SÄNKER KOSTNADERNA

Henrik von Hofsten, Skogforsk

Stubbdelar är besvärliga att hantera. De är skrymmande och förorenade av jord och sten. Grovkrossning och sållning av stubbved på avlägg minskar problemen och kan sänka kostnaderna med 15-20 procent. Energiförbrukningen, mängden föroreningar och risken för skador på lastbilarna minskar också. Prestationen vid stubbskörd kan öka eftersom föraren inte behöver lägga tid på att skaka loss jord och sten.

**Trots att stubbarna har** delats vid stubbrytningen på hygget är stubbdelarna spretiga och svåra att lasta vid avlägget. Det blir mycket luft i lasset och viktmässigt får lastbilarna därför sällan med sig full nyttolast. Rotbenen är dessutom hårda och går hårt åt sidorna på lastbilen, vilka därför måste vara gjorda i kraftigt och tungt stål som ökar fordonets tjänstevikt. Ett sätt att öka nyttolasten, minska risken för skador på lastbilarna och få med sig mindre föroreningar är att grovkrossa stubbarna redan på avlägg. Ett system med grovkrossning av stubbar på avlägget, inklusive sållning av stubbveden, har studerats och jämförts med ett konventionellt system.

Fördelar med grovkrossning på avlägget är framför allt

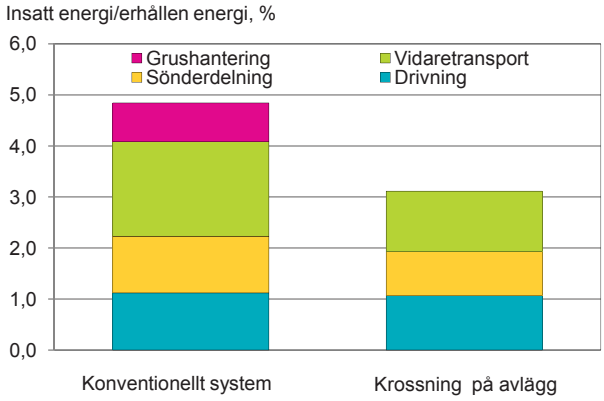



Nettokostnad för drivning (stubbrytning och skotning av stubbdelar till avlägg), sönderdelning och vidaretransport för ett konventionellt system och när grovkrossning görs på avlägget, kr/MWh. Grushantering är kostnader för bortforsling av sand, grus och sten vid värmeverket/terminalen.

den effektivare lastbilstransporten. Vidaretransporten av stubbveden från avlägget i skogen till värmeverket är den efter själva stubbrytningen dyraste åtgärden i hanteringskedjan. Även om det ännu inte studerats borde stubbrytningen underlättas eftersom föraren inte behöver lägga onödig tid på att skaka agggregatet för att få bort sand och sten ur stubbarna då sållning ändå sker på avlägget. Askhalten i den levererade stubbveden minskar och värmevärdet ökar. Sand, grus och sten som måste transporteras bort från värmeverk/terminal minskar.

De studier som gjorts visar att i jämförelse med att transportera hela stubbdelar till terminal för krossning kan kostnaderna sänkas med 15-20 procent. Uttryckt som energi- eller bränslevärde har kostnaderna för ett konventionellt system beräknats till ca 150 kr/MWh och för ett system där grovkrossning görs på avlägg till ca 125 kr/MWh.

Även förhållandet mellan insatt energi (dieselåtgång för maskinerna) och stubbvedens energiinnehåll förbättras. Räknat på hela kedjan från stubbrytning på hygget till färdigt bränsle vid terminal är andelen insatt energi i förhållande till energinnehållet i den levererade stubbveden 3,1 procent vid grovkrossning på avlägg mot 4,1 procent vid krossning på terminal/-värmeverk. Då är inte borttransport av sand och sten från värmeverket/terminalen inkluderad, vilken på grund av de större volymerna är betydligt mer energikrävande i ett konventionellt system.




Energiåtgång (dieselförbrukning) från stybbrytning till leverans vid värmeverk/terminal i förhållande till det energiinnehåll som finns i den levererade stubbveden, procent.

**Fortsatt FoU-behov**

Studier hur govkrossning på avlägg påverkar prestationen vid stubbrytning saknas. Även samtidig stubbrytning och uttransport av stubbved är intressant att undersöka i detta sammanhang. En grov överslagsberäkning ger vid handen att detta tillsammans skulle kunna innebära att produktionen ökade med 20-30 procent.

FOTO: MATTS BILDSTRÖM/SKOGENbild

# STUBBVEDENS BRÄNSLE-EGENSKAPER VID LAGRING OCH HANTERING

Raida Jirjis & Erik Anerud, SLU

Med stubbved följer sand, grus och sten, vilket ökar slitaget vid sönderdelning, sänker värmevärdet samt kan förorsaka problem som sintring vid förbränningen. Föroreningsgraden, uppmätt som askhalt, kan enligt finska erfarenheter variera mellan 1 till 24 procent. Lagring är ett effektivt sätt att minska fukt- och askhalten i stubbveden. För stubbar som skördats på våren och lagrats tre månader, oavsett lagringsmetod, kan askhalten ha sjunkit under 4 procent. Att lagra kluvna stubbar i små högar ute på hygget medför ingen större kvalitetsförbättring jämfört med vältlagring.

**Höga koncentrationer av** oorganiska föroreningar i stubbveden är en av orsakerna till att efterfrågan på stubbar som bränsle tidigare varit lågt. Det är främst jordarten på hygget och väderleksförhållanden före och under stubbskörden som avgör föroreningsgraden. Lagring ger stubbveden högre bränslekvalitet men är också ofta nödvändigt för att kunna möta värmeverkens efterfrågan under vintern.

Stubbar som skördas på försommaren torkar snabbt. Redan efter tre månaders lagring kan fukthalten ha halverats. Efter torkning sjunker föroreningsgraden kraftigt av den omilda hanteringen vid transport och krossning. För stubbar som lagrats tre månader, oavsett lagringsmetod, kan askhalten ha sjunkit till under 4 procent om de tagits upp på våren. En återfuktning av stubbveden sker under hösten och vintermånaderna, dock endast med ett par procentenheter. Löst sittande föroreningar kan under vintern vara fastfrusen i veden och därför bör hantering av stubbar vid temperaturer under 0°C undvikas. Att lagra kluvna stubbar i små högar ute på hygget medför ingen större kvalitetsförbättring jämfört med vältlagring. Det kan därför vara bättre att direkt efter stubblyftningen lagra stubbarna i välta vid bilväg för att bl.a. underlätta efterföljande föryngringsåtgärder på hygget.

De lägsta fukt- och askhalterna i stubbveden uppmäts normalt på sensommaren efter minst ett års lagring. P.g.a. angrepp av vednedbrytande svampar ökar dock förlusten i torrsubstans ju längre lagringstiden är. Det är därför viktigt att lagringstiden avvägs med hänsyn både till bränslekvaliteten och det totala energiinnehållet i de lagrade stubbarna.

För att påskynda torkningsprocessen bör aggregaten som används vid stubblyftning kunna dela stubben i mindre bitar. En lägre fukthalt ger inte bara högre bränslevärde utan minskar även risken för angrepp av vednedbrytande svampar. Generellt sett är det små skillnader i stubbvedens fukt-, askhalt och kalorimetriska värmevärde då stubbar skördats med de två vanligaste metoderna, grepteknik (hela stubben lyfts upp) respektive klippande teknik.(stubben delas i marken innan den lyfts upp).

Problemet med höga askhalter och långa lagringstider för att sänka den kan angripas från olika håll. Ett möjligt tillvägagångssätt är att modifiera aggregaten så att rensningsprocessen effektiviseras redan vid skörd. En annan angreppsvinkel är att på avlägget införa ett extra rensningssteg.

**Fortsatt FoU-behov**

Idag pågår två projekt för att minska andelen föroreningar efter skörd. Principerna i dessa bygger på att stubbveden antingen grovkrossas med en efterföljande sållning alternativt vibreras för att rensa stubbarna från vidhäftade föroreningar.

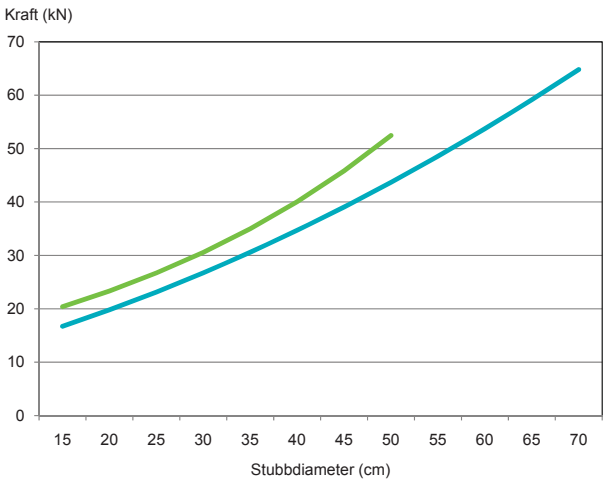
# KRAFTBEHOV VID STUBBRYTNING

Tomas Nordfjell, SLU

På grund av det stora kraftbehovet används idag stora och starka grävmaskiner för stubbrytning. Grävmaskiner har i jämförelse med skotare nackdelen att de är långsamma och osmidiga vid terrängkörning. Nya resultat visar dock att kraftbehovet inte är större än att de största skotarna kan klara arbetet för i stort sett alla stubbar.

**Stubbar har större total skogsbränslepotential** än grot. Kraftbehovet för att lyfta gran- och björkstubbar på moränmark är något högre på fuktiga än på friska marker. Om stubbarna delas i marken är kraftbehovet lägre än om de lyfts utan föregående delning. Vid stubbdelning innan lyftning har marknadens största skotare tillräcklig kraft för att lyfta 35 cm grova stubbar. Idag väger ett stubbaggregat ca 2 ton. Om vikten på aggregatet kunde reduceras till 1 ton så skulle samma skotare klara att lyfta minst 45 cm grova stubbar om stubbarna först delas i marken. En sammanfattande tumregel är att kraftbehovet för att lyfta en 20 cm grov stubbe är maximalt 2 ton och ökar sedan med ca 1 ton för varje 10 cm ökning i stubbdiameter. Tumregeln gäller när stubben först delas i marken före lyftning. Istället för att lyfta upp stubben kan man mycket väl tänka sig att vrida loss den. Det kommer att studeras i ett fältförsök som planeras, se separat artikel.

**Fortsatt FoU-behov**
Fältförsök är planerade, där kraften som behövs för att vrida loss stubbar fastställs och den markpåverkan som då uppstår studeras. Dessutom är det angeläget att fastställa vilka krafter som åtgår vid lyft eller vridning när ytliga sidorötter är avkapade.




Maximalt kraftbehov (kN) för att vertikalt lyfta gran- och björkstubbar av olika diametrar (cm). Den gröna, övre linjen gäller för stubbar som lyfts hela och den blå, undre linjen för stubbar som först delas i marken. Med dessa krafter kunde 97,5 procent av alla stubbar lyftas på det studerade moränhygget.

# STUBBSKÖRDETEKNIK FÖR MINSKAD MARKPÅVERKAN

Tomas Nordfjell, SLU

Stubbskörd utförs idag med maskiner som lyfter stubbarna rakt upp, oftast efter att de först delats i marken. Ett intressant utvecklingsspår är att istället vrida loss stubbarna. Ett annat är integrerad stubb- och stamskörd, där stubbens centrala del tas tillvara som en del av stammens rotstock. Båda dessa uppslag kommer att studeras i strävan att hitta effektiva metoder för stubbskörd med minskad markpåverkan.

**Om stubbrytning ska få en bred** tillämpning krävs att den sker under former som samhället kan acceptera, d.v.s utan att den kommer i skarp konflikt med naturvårdshänsyn, t.ex. genom för stor markpåverkan. Detta är en förutsättning för att kraftvärmeindustrin ska vara intresserad att inkludera stubbved för att täcka det ökande behovet av skogsbränsleråvara. Det är också en förutsättning för att skogsföretagen och de företag inom landet som tillverkar utrustning för stubbskörd ska våga och vilja satsa ordentligt på utveckling inom området. Först när stubbskörd kan genomföras i stor skala, d.v.s. på en betydande del av Sveriges hyggen, kommer ny teknik för stubbrytning att efterfrågas, utvecklas och tillverkas i betydligt större omfattning än idag.

En intressant idé, där tillvaratagande av stubbved inte behöver komma i konflikt med naturvårdshänsynen, är att ta tillvara stubbens centrala del (stubbkärnan) som en förlängning av rotstocken och låta stubben i övrigt vara kvar i marken. Förutom mindre markpåverkan så reduceras antalet maskinförflyttningar till och från objektet samt överfarterna på objektet när rundvirket och stubbarna kan tas ut vid ett och samma tillfälle. Det skulle också vara fullt möjligt att även ta ut groten vid samma tillfälle. Hur en sådan ”multiskördare” skulle kunna se ut framgår av principskissen till höger.

Istället för att lyfta upp stubben kan man mycket väl tänka sig att vrida loss den. Det som behöver studeras är vilka vridmoment som krävs för att stubbar ska lossna. I ett planerat fältförsök kommer stubbar (eller träd) att utsättas för rotationskrafter och vridmomenten mätas när de lossnar.

I försöket ingår också att studera på vilket sätt som stubben lossnar eller går sönder samt vilken markpåverkan detta innebär.

När både de krafter som behövs för att lyfta stubbar, vilket redan undersökts (se separat artikel), och de moment som krävs för att vrida loss dem är kända så har man bättre möjlighet att utveckla effektiv teknik för stubbskörd.

Med ledning av försöksresultaten bör innovatörer och maskintillverkare ha lättare att utveckla teknik för skonsam och effektiv stubbskörd, vilket skulle innebära att tillvaratagande av stubbar kan bli en normal deloperation på en betydande andel av slutavverkningarna.

Principskiss av ”stubbkärneskördare” som även producerar grotbuntar direkt på avverkningsplatsen. Med stubbaggregatet skärs trädens sidorötter av och därefter vrids och lyfts trädet upp. På marken bakom maskinen ligger en grotbunt och en rotstock med tillhörande stubbkärna. Teckning efter idé av Tomas Nordfjell.

**Fortsatt FoU-behov**
Förutom försöken med integrerad stubbskörd och lossvridning av stubbar ska en sammanställning av marknadens aggregat för stubbskörd genomföras. Även en enkel systemanalys rörande potentialen för integrerad stubb- och stamvedsskörd planeras.

”Fräsen” är det aggregat som ger minst markpåverkan vid stubblyftning. Den skär av sidorötterna innan stubben lyfts. Fräsen finns idag endast i prototyputförande.

Uttag av skogsbränsle i form av klena träd. Avverkningsarbete i klena, växande bestånd ställer krav på skonsamhet för att säkerställa skogens framtida utveckling, men också på mycket hög effektivitet för att hålla kostnaderna på en rimlig nivå.

# UNGA BESTÅND

## – EN VÄXANDE ENERGIKÄLLA

Tomas Nordfjell, SLU &
Mia Iwarsson Wide, Skogforsk

Utglesning av ungskog, röjning, är en nödvändig åtgärd för att skapa växtlig produktionsskog. Det är en dyr åtgärd, men många täta, unga skogar kan ge så stora volymer skogsbränsle att mycket av kostnaden betalas eller rentav generera ett överskott. Nära tre miljoner hektar kan vara lämpliga för uttag av skogsbränsle.

**Klen skog är en intressant** skogsbränslekälla. Det möjliga utfallet av massaved är litet, av låg kvalitet och fördelat på flera sortiment. Tillvaratagande av skogsbränsle ger större uttag och en rationellare hantering. En flerårig trend med avtagande röjningsintensitet i skogsbruket har gjort att andelen lämpliga ungskogar för skogsbränsleuttag ökat.

Nya studier visar att potentialen är betydligt högre än vad som tidigare antagits. Det finns i Sverige 2,8 miljoner hektar ungskog som är lägre än 12 m och med mer än 30 ton TS/ha, varav 1,1 miljoner ha i Norrland och 1,7 miljoner ha i Svealand och Götaland. Det genomsnittliga biomassaförrådet i dessa bestånd är 54 ton TS/ha. Med samma skötselin-

Grovkvistade träddelar –ett nytt bränslesortiment som är lätt att hantera och begränsar uttaget av näringsämnen från den växande ungskogen.

riktning som idag med en beståndsutglesning (röjning), men nu i form av skogsbränsleuttag, skulle årligen c:a 2 miljoner ton TS kunna skördas i denna beståndstyp, vilket motsvarar 10 TWh per år. Till detta kommer klena träd längs vägkanter samt i åkerkanter, kraftledningsgator och betesmarker.

Data från Riksskogstaxeringen visar att arealen slutavverkning och därmed tillgången på grot och slutavverkningsstubbar knappast kommer att öka under det kommande decenniet. Därför är det extra viktigt att de stora, men svårhanterade, volymerna i klen skog kan göras tillgängliga. Redan med dagens teknik ger skogsbränsleuttag i klena bestånd betydligt högre intäkter än om uttaget görs i form av massaved. Men teknik och system för tillvaratagande måste utvecklas för att öka effektiviteten och få ner kostnaderna. Teknik och metoder behöver också bli skonsammare så att inte ingreppen orsakar för stora skador i det kvarlämnade beståndet.

Uttag av skogsbränsle i form av hela träd medför ett relativt stort näringsuttag. Eftersom uttaget sker i ett växande bestånd där konkurrensen mellan träden är hård, så finns risker för direkta produktionsförluster på ett helt annat sätt än då växtnäring i form av grot tas bort från ett hygge. Vår kunskap om hur ingreppen påverkar tillväxten måste öka så att negativa effekter kan undvikas eller kompenseras, t.ex. genom återföring av aska och gödselmedel. Ett alternativ som blivit vanligare är att ta ut skogsbränslet i form av grovkvistade träddelar. Därvid minskar uttaget av skogsbränsle något, men samtidigt lämnas mycket av grönmassan och därmed näringen kvar i beståndet. Genom att lägga grenarna och topparna i stickvägen minskas även risken för körskador.

**Fortsatt FoU-behov**

Virkesförråd och -produktion är betydligt högre i de unga, klena bestånden än vad som tidigare antagits. För att fullt ut kunna använda dem som en skogsbränslekälla behövs dock mer och bättre data. Vi behöver också ökade kunskaper om hur ett intensivare utnyttjande påverkar utvecklingen av unga skogar.

Teknik och metoder måste utvecklas för att öka effektiviteten i uttagen. Skogforsk samarbetar med skogsbruket för att få fram utvecklingsverktyg som skall stödja ett ökat utnyttjande av skogsbränsle från klena bestånd.

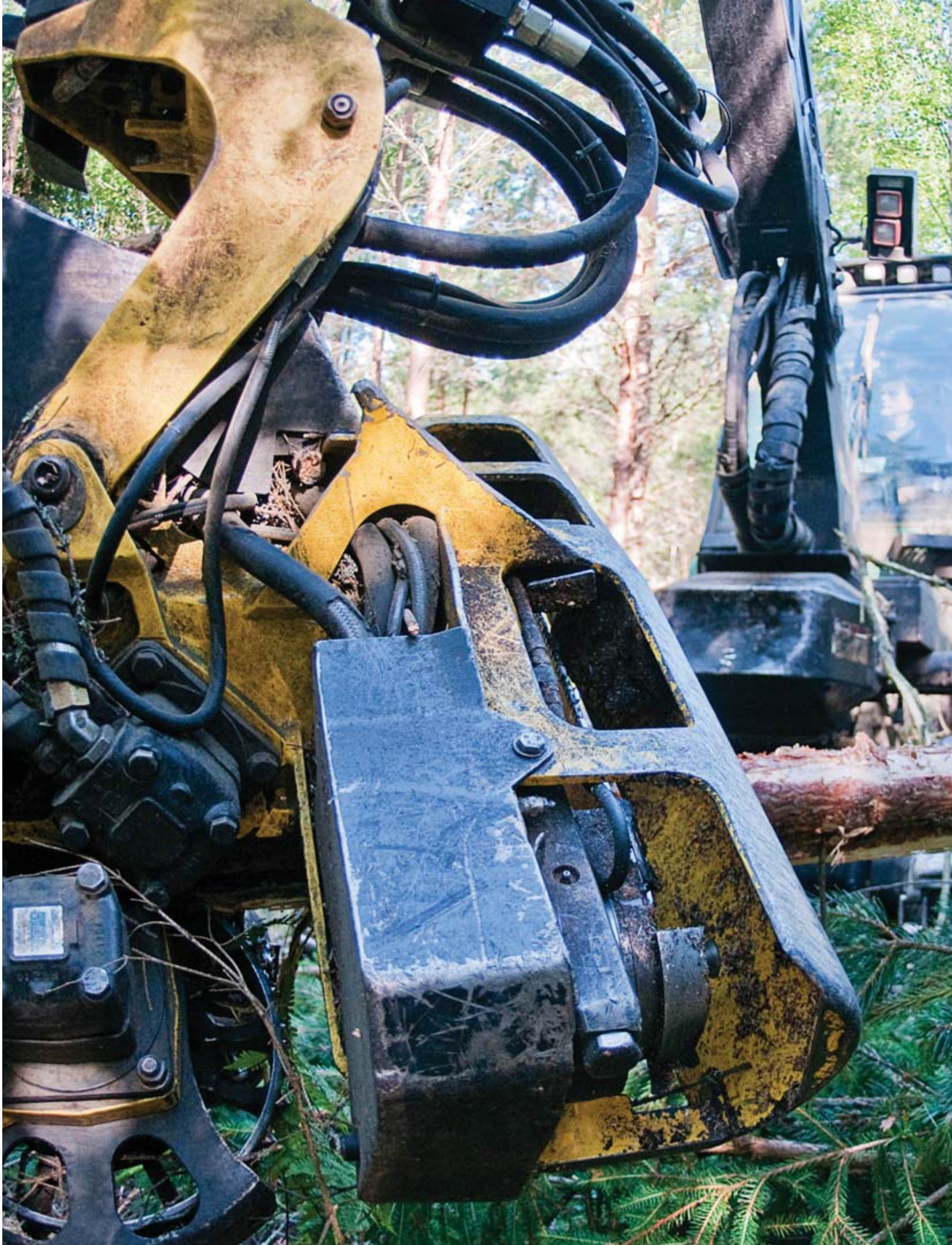
# TEKNIK OCH METODER FÖR AVVERKNING AV KLENA TRÄD

Mia Iwarsson Wide, Skogforsk

Flerträdshantering är nyckeln till sänkta kostnader vid avverkning av klena träd. Med dagens teknik kan produktiviteten öka med 15-30 procent om antalet träd per krancykel höjs från dagens 3 till 6-9. I riktigt klen skog bör man sikta på 8-10 träd. Förbättrade arbetsmetoder, t ex minskat kranarbete genom att avverka träden i rätt ordning eller arbeta geometriskt i stråk/korridorer utifrån stickvägen, kan öka produktiviteten ytterligare, utan ökad arbetsbelastning på föraren.

**Skogsbränsle från klen skog** kan tas ut på olika sätt, som okomprimerade hela träd, grovkvistade träddelar (energived) och i kombination med massaved. Bränslet har god kvalitet tack vare hög andel stamved. Det är förhållandevis lätt att hantera vid lagring, sönderdelning och transport. Mycket av biomassan i unga bestånd återfinns i grenar och toppar. Jämfört med uttag av enbart massaved i förstagallringsbestånd ökar den uttagna volymen med minst 50 procent när skogsbränsle tas ut. Detta ökar intäkterna. Det är hanteringsmässigt ofta en fördel om enbart skogsbränsle tas ut. Kombinerat massaveds- och skogbränsleuttag fördyrar avverkningen, eftersom flera, volymmässigt små sortiment då ska hanteras. Beroende på prisrelationer, skogsägarens och beståndets förutsättningar kan dock samtidigt uttag av massaved och skogsbränsle ibland vara intressant.

Avverkning av klena träd är kostsamt. Kostnadsmässigt tyngst är fällning-sammanföring, som står för 60-75 procent av kostnaderna. Tre tekniska lösningar används för klenträdsfällning; klipp, sågklinga eller sågsvärd. Varje teknik har sina för- och nackdelar men det viktigaste är i själva verket hur aggregatet i sin helhet fungerar, inte minst hur träden hanteras efter avskiljning. Ett lämpligt aggregat bör klara av att avskilja och ackumulera flera träd i varje krancykel, hålla bunten väl samlad samt kunna kompaktera och vid behov mata fram och kapa den för att underlätta terräng- och vidaretransport. Allra helst ska aggregatet också kunna genomföra avskiljning och ackumulering av träden under kontinuerlig kranrörelse. De aggregat som finns på marknaden idag uppfyller olika väl dessa önskemål och har också olika goda förutsättningar att utvecklas i önskvärd riktning.



Bracke C16. Fällhuvud med sågklinga.Aggregatet saknar matarhjul. Ackumuleringsfunktionen är relativt tillförlitlig.

Naarva-Grip 1500-40E. Fällhuvud med klipp. Aggregatet saknar matarhjul. Ackumuleringsfunktionen är tillförlitlig.

Log Max 4000 B skördaraggregat med sågsvärd och matarvalsar. Ackumuleringsfunktionen är tillförlitlig.

Val av teknik och metod avgörs, förutom av om enbart skogsbränsle ska tas ut eller om det ska kombineras med uttag av massaved, främst av beståndets täthet och medeldiameter. För uttag av hela träd längs vägar och åkerkanter fungerar fällaggregat utan matarhjul. Även i mycket klena ungskogsbestånd med en medelhöjd upp till 7-8 meter kan de fungera. I mycket tät skog kan det dock vara svårt att lägga ner bunten med ackumulerade träd på marken när fällaggregatet saknar matarhjul. Trädbunten hakar lätt fast i kronorna på kvarstående träd. Problemet ökar i bestånd med medelhöjder över 7-8 meter. Ett fällaggregat med matarhjul kan använda matarhjulen för att dra ner bunten med träd.

Ackumulerande skördaraggregat kan växla mellan avverkning av massaved och skogsbränsle, vilket ger hög flexibilitet. Möjligheten att kompaktera och grovkvista träddelar är en förutsättning för att nå höga lassvikter vid skotning och vidaretransport. Risken för framtida tillväxtförluster är mindre vid grovkvistning eftersom mycket av de näringsrika kvistarna och barren blir kvar i beståndet. Dessutom minskar riskerna för markskador när skördaren kan risa vägarna i känsliga avsnitt.

Flerträdshantering är avgörande för effektiviteten vid tillvaratagande av klena träd och nyckeln till lönsamhet. Den potential som finns i denna teknik utnyttjas inte fullt ut. Redan med befintlig teknik kan prestationen ökas med 15-30 procent genom att höja graden av ackumulering från dagens 3 till 6-9 träd per krancykel. I riktigt klen skog bör man sikta på 8-10 träd per cykel. För säker hantering av trädbuntarna är det en fördel med ett relativt stort avstånd mellan griparmarna nederst på aggregatet och de övre ackumuleringsarmarna. Kvistknivar och matarhjul kan bidra till att stabilisera trädknippet.

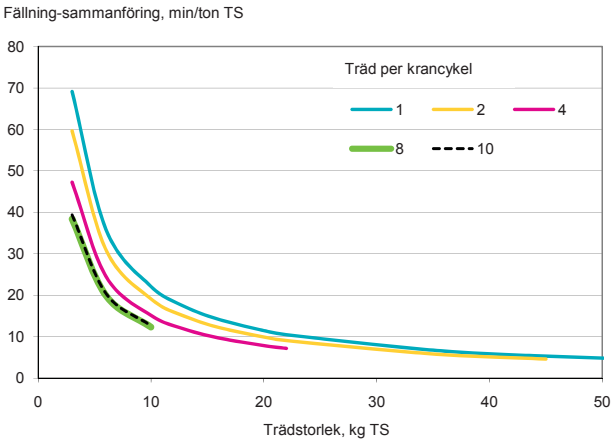
Skördarens arbetsmönster har stor betydelse. Att fälla träden i en ordning som minimerar kranrörelserna ökar prestationen. I stället för att gallra selektivt, vilket är det konventionella sättet, kan man tillämpa geometriska gallringsmönster. Uttaget görs då genom att alla träd fälls i kranstråk ut från stickvägskanten. Detta ökar prestationen och minskar arbetsbelastningen på föraren, som slipper fatta beslut om varje enskilt träd. Geometriska arbetsmönster lämpar sig troligen bäst i täta, homogena bestånd. I täta, mycket klena bestånd fungerar svepteknik (fällning under kontinuerlig kranrörelse) med aggregat utrustade med sågklinga relativt väl.

För effektiv skotning är det viktigt att trädhögarna koncentreras till få men stora högar längs stickvägen. Vid skotning av klena, helkvistade träddelar får man med sig nästan lika mycket (ca 95 procent) som vid skotning av massaved. Att det blir något mindre lass beror på mer ”luft i lassen” p.g.a. det mycket klena virket. Motsvarande siffror för grovkvistade träddelar är 80-90 procent och för okompakterade träddelar och hela träd ca 65 procent.

Förröjning av de minsta träden (<4 cm dbh) höjer medelvolymen i uttaget och därmed prestationen vid avverkningen. Förröjning kostar kring 2000 kr/ha. Det är en standardåtgärd och utförs ofta även om det inte alltid lönar sig ekonomiskt. Vid mycket tät underväxt av gran, då avverkning ska utföras under dygnets mörka timmar eller under perioder med stort snödjup kan det dock vara både arbetsmiljömässigt nödvändigt och ekonomiskt försvarbart med en förröjning.

Prestationen och därmed lönsamheten är starkt beroende av den volym som kan tas ut, d.v.s. antalet träd och deras storlek. Med dagens system krävs relativt stora uttag, ca 2 000 träd per hektar med en genomsnittlig brösthöjdsdiameter på ca 8 cm för att få ett positivt netto, vilket motsvarar ett uttag på ca 50 m³f/ha.

Sönderdelning och transport är tunga kostnadsposter. Helkvistade och grovkvistade klena träddelar kan transporteras med konventionella rundvirkesbilar. Detta gör direktkörning av oflisat material kostnadseffektiv, även på längre avstånd. Men bilarnas lastutrymme bör vara täckt för att säkerställa att material inte faller ur lasset under transporten. Skogsbränsle från klena träd har goda lagringsegenskaper och kan efter transport enkelt läggas upp som strategiskt bränslelager på terminal eller hos slutkund. Central upparbetning ger lägre kostnader än flisning vid avlägg.




Tidsåtgången minskar kraftigt om fler än ett träd kan fällas per krancykel. Effekten avtar dock med ökande ackumuleringsgrad.

**Fortsatt FoU-behov**

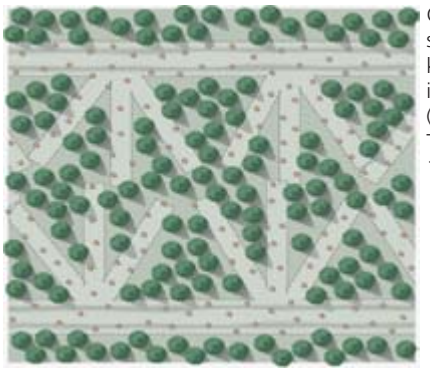
På kort sikt behöver systemanalyser av hela hanteringskedjan genomföras i syfte att hitta de mest rationella och lönsamma lösningarna vid skiftande beståndsförutsättningar.

Fortsatta metodstudier krävs för att kunna utveckla optimala arbetssätt och -mönster.

På längre sikt måste lösningar för kontinuerlig avverkning och ackumulering av klena träd utvecklas om effektiviteten i klenträdshanteringen ska kunna höjas ytterligare en nivå.

# GEOMETRISK GALLRING I KLENA BESTÅND

Tomas Nordfjell, SLU



Gallrat ungt skogsbestånd med krankorridorer i solfjäderform (principfigur Per Thorneus, SKOGEN 11-06).

Ett sätt att kraftigt höja produktiviteten vid gallring av klena, täta bestånd är någon form av geometrisk skörd mellan stickvägarna, d.v.s. att i smala stråk, krankorridorer, vinkelrätt mot stickvägen eller i solfjäderform avverka samtliga träd. Stråken kan tas upp med ett kranspetsmonterat fällningsaggregat som kan ackumulera träden stående. I jämförelse med konventionell, selektiv gallring visar studier att krankorridorgallring utförd med dagens teknik ökar produktiviteten och lönsamheten och att mer skogsbränsle kan tas ut. Om teknik och metoder utvecklas blir krankorridorgallring ännu mer konkurrenskraftigt och kan med bibehållen lönsamhet utföras i allt klenare bestånd. Rent visuellt är det svårt att i det kvarvarande beståndet se någon skillnad mellan geometrisk och selektiv gallring.

**Vid konventionell gallring** läggs ett stickvägsnät upp i beståndet med ca 20 m mellan vägarna, där alla träd avverkas. På hela arealen mellan stickvägarna, mellanzonen, görs sedan en selektiv gallring av träden. För att uppnå lönsam produktivitet vid gallring av klena och täta bestånd med en diameter under 8 cm krävs någon form av geometrisk skörd i mellanzonen. Det kan ske genom att från stickvägen ta upp smala stråk in i mellanzonen, krankorridorer. Avverkningsmaskinen ska då helst ha ett fällningsaggregat i kranspetsen som klarar av att fälla och hantera alla träd i en krankorridor under kontinuerlig rörelse.

I samband med en exkursion demonstrerades hur ett krankorridorgallrat bestånd ser ut. Beståndet innehöll före gallring 90 ton TS/ha. När beståndet gallrades med vinkelräta krankorridorer så blev uttaget 45 ton TS/ha, och när man använde ett solfjäderformat krankorridormönster så blev uttaget hela 59 ton TS/ha. De som deltog i exkursionen hade svårt att i det kvarvarande beståndet se någon skillnad mellan krankorridorgallringen och ett konventionellt, selektivt gallrat bestånd.

I en omfattande fältstudie (16 försöksytor indelade i 8 block) jämfördes selektiv och geometrisk gallring vad avser skillnaden vid produktivitet i avverkningsarbetet. En viktig slutsats från denna studie är att redan med dagens teknik kan geometrisk gallring tillämpas och med det en klart högre produktion uppnås.

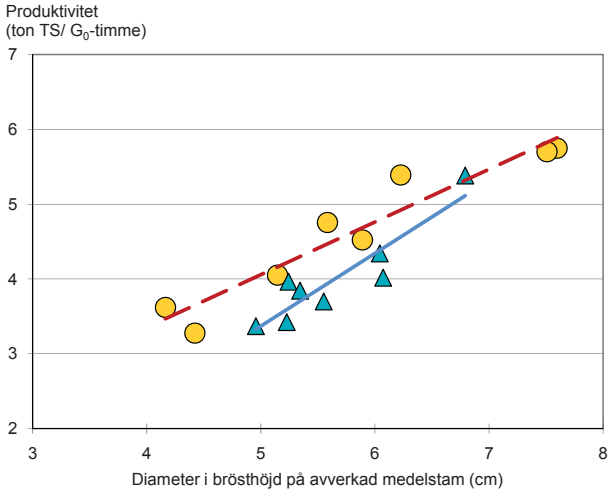
Med lämplig komprimeringsutrustning på lastbäraren kan lastutnyttjandet för okvistade klena träd uppgå till 75 procent av maximal lastvikt mot 55-60 procent utan komprimering. Med en komprimeringsutrustning i kranspetsen kan komprimeringsgraden ökas ytterligare samtidigt som en stor andel näringsrika finfraktioner, barr och fina kvistar, avlägsnas. Därmed sänks askhalten vid förbränning av materialet. Mellan 11 och 18 procent av materialets totala massa avlägsnas och askhalten sjunker från ca 0,8 ner till 0,4-0,5 procent.

Man kan redan idag genomföra kontinuerlig fällning av träden i en krankorridor som är 0,8 m bred med en hastighet av minst 0,4 m/s. Principstudier har visat att det är möjligt att utföra kontinuerlig fällning i hastigheter upp till

1,0–1,4 m/s, beroende på trädens grovlek. Det finns förslag på nya tekniska lösningar för att uppnå hög produktivitet vid avverkning i mycket klena bestånd. Behovet av specialmaskiner för krankorridorgallring kan, beroende på graden av specialisering hos maskinerna, beräknas till någonstans mellan 130 och 300 totalt i Sverige. Beräkningen baseras på en uppskattad totalvolym om ca 2,6 milj. ton TS per år, en produktionskapacitet per maskin på 4-10 ton TS/h och ett maskinutnyttjande på 2 000 h/år. Med dagens teknik kan man vid korridorgallring uppnå lönsamhet om beståndets medeldiameter är något grövre än 8 cm (45 träd/ton TS). Med mer utvecklad teknik så kan den gränsen sänkas ner mot 6 cm. En förutsättning för utveckling av specialmaskiner är dock att gallring av täta ungskogar blir en så vanlig åtgärd att efterfrågan på effektiv teknik ökar kraftigt.

De genomförda försöken visar att om ändamålsenlig teknik utvecklas är produktionspotentialen betydande vid geometriska gallringsuttag i täta ungskogsbestånd. Studierna har också visat hur stor biomassa per ha som faktiskt finns i täta ungskogar. Försöken visar också att det är viktigt att lämna de allra minsta träden (klenare än 2 cm) om en hög produktivitet skall kunna uppnås. För täta bestånd under 9-10 cm i brösthöjdsdiameter är bruttovärdet vid gallring 2,5-3 gånger högre vid skogsbränsleskörd än vid konventionell massavedsskörd. Det finns naturligtvis inget tekniskt hinder för att i en industrianläggning avskilja massaved ur den skördade biomassan, om ekonomiska incitament finns för detta.

En tidig modell av Bracke C16a, marknadens kanske bäst utvecklade aggregat för geometrisk skörd i unga, täta skogsbestånd. Redan i dagsläget kan man i mycket klena bestånd med detta aggregat komma upp i en produktion vid fällning och sammanföring på ca 4,5 ton TS/G0-timme (9 m³f biomassa/G0-timme och 500 träd/G0-timme). Foto: Tomas Nordfjell, SLU.




Produktivitet vid selektiv gallring (heldragen linje) och vid geometrisk krankorridorgallring (streckad linje) som funktion av trädstorleken.

Idéskiss på tänkbar utformning av en specialiserad krankorridorskördare för produktion som ger god ekonomi även i så klena bestånd som ner mot ca 6 cm brösthöjdsdiameter.

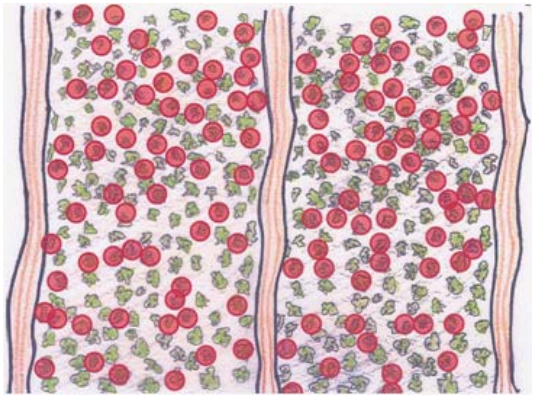
**Fortsatt FoU-behov**

Den rätt så grundläggande forskning av gallring som hitintills genomförts bör följas upp med metodutveckling samt utveckling och studier av kommersiella maskiner. Det behövs också djupare kunskap om skotning till avlägg inklusive komprimering och kapning av långa träd. Det är för närvarande oklart vilka arbetsoperationer som bäst utförs i samband med fällning/sammanföring respektive vid skotningen. Dessutom är inte frågan besvarad om materialet bör buntas och i så fall var och när detta bör ske.

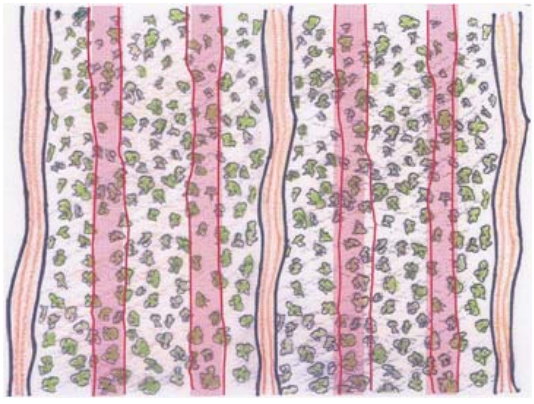
# KORRIDORGALLRING FÖR UTTAG AV TRÄDDELAR

Isabelle Bergkvist, Skogforsk

Merparten av skogsbränsleuttagen i klen skog sker idag med konventionella gallringsmetoder. Ett alternativ är korridorgallring, där träden mellan stickvägarna avverkas i stråk istället för selektivt. Korridorgallring är noga studerad och testad i ungskogsröjning (dock utan att ta ut biomassan). En jämförande studie av de två metoderna i en förstagallring med relativt grov skog visade att prestationen ökade med 10-15 procent vid korridorgallring. I klenare bestånd är troligtvis ökningen ännu större, vilket planerade studier i så fall får utvisa.



Schematiska bilder av selektiv gallring respektive korridorgallring mellan stickvägarna. Bilderna är skalenligt ritade för ett bestånd med 7500 stammar/ha.



**Stor efterfrågan med god** betalningsförmåga, utsikten att få ett netto tidigt under beståndets omloppstid och ny teknik för tillvaratagandet har ökat intresset för uttag av skogsbränsle vid ungskogsröjning och i förstagallringar. Skogsbränsleuttag i klena bestånd förväntas i Sverige kunna ge ett energitillskott på 5-10 TWh. Skogsbränsle från klena bestånd tillvaratas idag med konventionella metoder, där stickvägar tas upp i beståndet och träden mellan vägarna gallras selektivt. Ett alternativ till detta är korridorgallring, där istället för selektiv gallring av träden mellan stickvägarna avverka alla träden i stråk eller korridorer och lämna resten ogallrat.

De två metoderna jämfördes i en tidsstudie för att utvärdera korridorgallringens eventuella potential vad avser prestation och kostnad. Studien genomfördes i samarbete med Sveaskog Förvaltnings AB i ett talldominerat förstagallringsbestånd. Medelträdvolymen var 0,07 m³f (fastvolym inklusive topp, grenar och barr). Beståndet var egentligen i högsta laget för uttag av träddelar. Medelhöjden 14 m innebar att samtliga stammar fick kapas på mitten för att möjliggöra en effektiv skotning.

I studien var avståndet mellan stickvägarna 20 m. Vid korridorgallringen är tanken att avverka träden i två stråk mellan stickvägarna och sedan lämna mellanzonerna orörda. Mellanzonerna mellan stråken och stråk - stickväg blir då

| Trädslag | Stammar/ha | Medeldiameter | Medelhöjd | Medelträdvolym | Terräng |
|---|---|---|---|---|---|
| Talldominerat | 2 850 st/ha | 11,5 cm | 14 m | 0,07 $m^3$ | 1–1–3 |

Beståndsförutsättningar i studien.

ca 7 meter. Träddelarna avverkas mot stickvägarna och skotningen genomförs alltså endast efter dessa. I jämförelsen simulerades korridorgallringen genom att använda studiedata från avverkningen av träden i stickvägen och teoretiskt beräkna prestation och volymer för stråkgallringen. Maskinerna som studerades vid gallringen var en Valmet 901 med Bracke C16 skördaraggregat samt en Valmet 901 med Silvaro klippaggregat. Båda aggregaten har ackumuleringsarmar för flerträdshantering. Silvaroklippen användes i en något klenare del av beståndet. Terrängförhållandena var lätta för maskinerna (grundförhållande, ytstruktur och lutning, 1–1–3). I studien avverkades 100-200 träd per stickväg.

Uttaget av skogsbränsle blev ungefär detsamma oavsett metod, ca 105 $m^3f$ (fastvolym inklusive toppar, grenar och barr) per ha. Prestationen för maskinen med Bracke C16 aggregatet var 14,7 $m^3f/h$ vid den konventionella gallringen och 16,5 $m^3f/h$ vid korridorgallringen. Motsvarande siffror för Silvaroklippen var 15,8 $m^3f/h$ respektive 17,1 $m^3f/h$. Sammantaget ger det en prestationsökning på mellan 10 och 15 procent vid korridorgallring jämfört med konventionell selektiv gallring. I klenare skog är förmodligen potentialen ännu högre.

**Fortsatt FoU-behov**

Den redovisade studien ska ses som en förstudie för mer omfattande undersökningar av olika metoder för uttag av skogsbränsle i form av träddelar. Till exempel kan man anta att vinsterna med korridorgallring är ännu större i klenare och stamtätare bestånd än det i studien, vilket dock återstår att visa. Andra viktiga frågeställningar är:

- Vilka volymer och nettointäkter kan man räkna med vid olika beståndsförutsättningar?
- Hur kan skötselmodeller anpassas för att gynna skogsbränsleuttag?
- Vad är lämpliga korridor-/stickvägsavstånd vid olika biologiska och ekonomiska förutsättningar?
- Hur påverkas beståndets vidare utveckling av korridorgallring?
- Vilken teknisk utveckling krävs för att kunna förbättra och förfina metoden?

MER SKOGSBRÄNSLEUTTAG

# I VÄGKANTER

Mia Iwarsson Wide, Skogforsk

Småträd från röjning av vägkanter är en dåligt utnyttjad resurs för skogsbränsle. Tillgången varierar stort från vägsträckor utan småträd och buskar till avsnitt med flera 10 000-tals stammar per ha. I de studier vi genomfört har stamantalet varierat mellan 4 000 och 20 000 stammar per ha med ett biomassauttag på mellan 40 och 110 ton torrsubstans. De genomsnittliga prestationerna vid tillvaratagandet har legat på 2,6-3,7 ton torrsubstans per G0-timme. Lönsamheten har varit relativt god med ett netto på över 10 000 kr per km väg. Om 5 procent av de 213 000 km skogsbilvägar som finns i Sverige, d.v.s. ca 10 000 km, antas lämpliga att årligen skördas på sina vägkantsträd skulle detta innebära ett energitillskott på drygt 2 TWh.

**Att röja ner småträd** och buskar efter vägkanterna är en åtgärd som av tradition räknats till vägunderhållet och därmed enbart varit en kostnad. Hitintills har mycket lite av vägkantsvegetationen tagits tillvara, mycket beroende på att lönsamheten varit dålig. Med stigande priser och ökande efterfrågan på skogbränsle blir det dock alltmer intressant att tillvarata denna resurs och att utveckla effektiva metoder och teknik.

Skogforsk har genomfört två studier av skogsbränsleuttag längs vägkanter. I den ena studerades en Ponsse Dual med det flerträdshanterande och klippande aggregatet EH25. Avverkade träd och buskar direktlastades och skotades till välta. I den andra studien användes en Valmet 911 utrustad med ett Bracke C16 aggregat med sågklinga. Träd och buskar flerträdshanterades och lades i högar vid vägkant. Syftet med studierna var att undersöka uttagsvolymer, prestationer samt kostnader och intäkter vid fällning och tillvaratagande av vägkantsträd med olika avverkningssystem.

I studierna har stamantalet per hektar varierat mellan 4 300 och 7 000 och uttaget mellan 39 och 52 ton TS per hektar. Den genomsnittliga trädvolymen i de två studierna var 5 respektive 12 kg TS per träd. Den genomsnittliga produktiviteten vid avverkning och skotning varierade från 2,6 till 3,7 ton TS per $G_0$-timme.

| | Bracke C16 | Ponsse EH25 |
|---|---|---|
| Stamantal per ha | 7 000 | 4 300 |
| Medeldiam. i brösthöjd (GY-vägd), cm | 7 | 9,9 |
| Medelhöjd, m | 5,5 | 9,2 |
| Mängd, ton TS / ha | 39 | 51,8 |
| Mängd, ton TS / km | 54,7 | 46,6 |
| Kg TS per träd | 5 | 12,4 |
| Avverkningsbredd per vägsida, m | 7 | 4,5 |
| Antal träd per krancykel | 4,3 | 3,6 |
| Träd per $G_0$-h | 490 | 303 |
| Avverkning, ton TS/$G_0$-h | 2,6 | |
| Avverkning & skotning, ton TS/$G_0$-h | | 3,7 |
| Kostnad avverkning, kr/km | 20 500 | 13 100 |
| Intäkt, kr/km | 46 700 | 36 800 |
| Kostnad flisning, transport, kr/km | 15 700 | 10 700 |
| **Totalt netto (kr per km)** | **10 500** | **13 000** |

Förutsättningar och resultat i två studier av tillvaratagande av skogsbränsle i vägkanter.

I de två studier som genomförts skiljde det i stamantal och trädstorlek, vilket också påverkat lönsamheten något. En gemensam iakttagelse i både Skogforsks studier och i andra studier av skogsbränsleuttag i vägkanter är att vegetationen på de vägkantssträckor där studierna genomförts varierat stort. Vissa delar av vägkanterna var mycket tätbevuxna medan andra i stort sett saknade avverkningsbar vegetation. Även dimensionerna på vägkantsträden varierade stort. Detta gäller troligen generellt för hela vägnätet i Sverige, vilket kommer att innebära stora svårigheter att uppskatta uttagsvolymerna och att nettot vid skogsbränsleuttag kommer att skilja mycket.

För lönsamheten är det av stor vikt att endast avverka de vägkanter som håller tillräckliga volymer. Uttaget bör vara minst 40 ton TS per km vägsträcka. Om en stor andel av stammarna är 3 centimeter eller mindre i brösthöjdsdiameter, bör man överväga att kombinera avverkningen med en släntklippning. Man avverkar i så fall först de grövre stammarna och tar tillvara dem. Resterande vegatation slås sedan ner med släntklippare, vilket ger en betydligt billigare fällning av klena stammar.

Ofta vill man bli av med allt material längs vägkanten, dels med tanke på sikten, dels eftersom kvarlämnad vegetation annars gödslar marken och gynnar uppväxten av ny. Det som skulle behövas, och som idag inte finns, är en breddavverkande maskin som klarar av att avverka och tillvarata både grövre stammar och mycket klent sly i en och samma operation.

Skotning av skogsbränsle efter vägkantsklippning och direktlastning. Ponsse Dual utrustad med det flerträdshanterande och klippande fälldonet EH25.

**Uppskattad skogsbränslepotential längs Sveriges skogsbilvägar**

I Sverige finns i dag ungefär 213 000 km skogsbilvägar, d.v.s. vägar utan statligt bidrag. Om man antar att fem procent av denna väglängd årligen är lämplig att skörda för ett eventuellt biomassauttag och att medelvikten TS blir 40 ton/km (10 m skördebredd), motsvarar det ca 425 000 ton TS per år. Med ett effektivt energivärde på 4,7 MWh per ton TS blir det totala energitillskottet ca 2 TWh.

**Fortsatt FoU-behov**

Att utveckla metoder för uppskattning av uttagsvolymer längs vägkanter. För närvarande pågår diskussioner om möjligheten att använda laserdata och fjärranalys för att bedöma volymerna.

Det behövs fler studier av vilket aggregat som är effektivast att använda, klippande eller svepskördande aggregat med sågklinga.

Även fler studier av olika system och metoder behövs, t.ex. av separat avverkning och skotning till välta för senare flisning, direktlastning vid avverkning och skotning till välta för senare flisning, fällning och nedläggning av träd och buskar vid vägkant med efterföljande flisning med vägkantsgående huggbil.

I normalt vägunderhåll ingår att röjning av vegetationen längs vägkanter måste ske regelbundet. Om buskar och småträd i vägrenen tillåts växa fritt kommer, förutom försämrad sikt, fukt att bindas i vägkroppen och skada vägen. Röjning sker vanligtvis med s.k. släntklippning, vilket kostar ca 2 500 kr per km. Detta ska ställas mot det netto som ett tillvaratagande av vegetationen ger. Våra studier tyder på relativt god lönsamhet vid uttag av skogsbränsle längs vägkanter. Nettot har legat på 10 500 respektive 13 000 kr per km.

Kostnaden för släntklippning beror mycket på den hastighet som maskinen kan hålla, vilken i sin tur beror av antal och grovleken på de träd som ska klippas ned. Om träden inte är grövre än 4 cm i rotskäret kan släntklippen hålla en hastighet av ca 3 km/h och kostnaden blir ca 1 000 kr per km. Om rotskäret på många av träden däremot är ca 10 cm går det inte att köra fortare än ca 1 km/h och släntklippningen kostar då ca 3 500 kr per km. Är många av träden ännu grövre ökar kostnaden avsevärt. För väghållaren verkar det således vara en mycket god affär att ta tillvara skogsbränslet istället för att bara röja ner det. Problemet är att de ”lönsamma” vägsträckorna ligger inbakade i de mer klent bevuxna sträckorna och att det inte finns någon bra metod att bedöma och hitta igen dessa lönsammare vägsträckor.

# KROSSAR PÅ AVLÄGG

## – ARBETSORGANISATION KRITISK

Lars Eliasson & Berndt Nordén, Skogforsk

Studier av stora krossar vid krossning av skogsbränsle på normalstora avlägg vid skogsbilväg visar att krossarnas höga produktionspotential av utrymmesskäl är svårt att utnyttja. Vilket material som krossas har dessutom stor betydelse för prestationsnivån. Vid krossning av lagrad (brun) grot var prestationen 25-30 procent och vid krossning av stubbar 35-45 procent av den nivå som erhålls vid flisning av rundved.

**Under 2007 och 2008 studerades** ett antal medelstora till stora krossar vid krossning av skogsbränsle på avlägg vid skogsbilväg. Krossarna som ingick i studierna används vanligtvis vid krossning på stora avlägg och terminaler. Resultaten indikerar att det finns stora organisatoriska svårigheter att under ”normala” förhållanden på skogsbilvägar utnyttja den höga potentiella prestation krossarna har. Dels är det svårt att förse maskinen med tillräckligt med material och dels att ta reda på den producerade flisen. Det utrymme som behövs för att få till ett effektivt flöde finns normalt inte längs skogsbilvägar. För att inte andelen flyttid ska bli för stor krävs dessutom stora mängder skogsbränsle på avlägget. Sammantaget innebär detta att det är mycket svårt att effektivt utnyttja en stor kross på ett avlägg vid skogsbilväg.

Studierna visar att det material man matar krossen med har en avgörande påverkan på prestationen. Vid krossning under gynsamma förutsättningar var prestationsnivån 25-30 procent vid krossning av brun grot och 35-45 procent vid krossning av stubbar jämfört med flisning av rundved. Vid krossning av grot är inmatningen i maskinen en flaskhals. På grund av materialets låga fastmasseandel är det svårt att mata in tillräckligt med material för att fullt utnyttja krossningskapaciteten.

**Fortsatt FoU-behov**

Fler studier av sönderdelningsteknik, maskinstorlek och olika skogsbränslesortiment behövs för att heltäckande kunna utreda effekterna på prestation, kostnads- och energieffektivitet vid sönderdelning.

VOLVO

VOLVO

# HUGGBILAR BLIR VANLIGARE

Lars Eliasson, Skogforsk

Huggbilar utrustade med lastväxlarsystem för fliscontainer har blivit vanligare på senare år. I jämförelse med traditionella huggbilar har de bl.a. fördelen att utnyttjandet av huggen kan ökas. En variant av huggbil är hugglinken som är utrustad med en avställningsbar hugg. Fördelen är att huggen inte inkräktar på nyttolasten och kan lämnas kvar tills objektet är färdigt. För att få full effekt av hugglinken bör dock två flisekipage användas samtidigt.

Rangering av fliscontainer på avlägg.

| Arbetsmoment | Tidsåtgång (min/ton TS) |
|---|---|
| Flisning | 3,68 |
| Transport & rangering | 1,27 |
| ∑ Effektiv tid ($G_0$) | 4,96 |
| Underhållstid | 0,42 |
| Organisatoriska avbrott | 0,56 |
| ∑ Verktid | 5,94 |

Tidsåtgång för olika moment vid flisning med containerhuggbil.

**Huggbilar, d.v.s. lastbilar med** fast monterad flishugg, som hugger och kör in flisen till värmeverket, har i tidigare studier visat sig vara ett lönsamt alternativ till traditionella skotarmonterade flishuggar. Under de senaste åren har huggbilar utrustade med containrar som kan växlas mellan olika fordon blivit vanligare. Dessa flisar direkt i containrar som sedan transporteras till mottagaren med en eller flera vanliga lastväxlarbilar, d.v.s. lastbilar utan egen hugg. Jämfört med en traditionell huggbil har containerhuggbilen fördelen att man kan öka utnyttjandet av huggen, vilket ökar huggbilssystemets konkurrenskraft på stora objekt och långa avstånd. Nackdelen med containersystem är att det tar tid att rangera containrarna samt att huggbilen kan bli stående overksam då containrarna fyllts om inte lastväxlarbilen hunnit tillbaka med tomma containrar. I samarbete med Stora Enso Bioenergi AB och det italienska forskningsinstitutet CNR/IVALSA genomfördes en studie med målet att fastställa prestationen hos en containerhuggbil och hur tiden fördelade sig på olika moment.

Containerhuggbilens prestationen var 10,1 ton TS per verktimme vid ett avstånd på 250 m mellan grotvältan och omlastningsplatsen. Ungefär en sjättedel av verktiden utgjordes av underhåll och organisatoriska avbrott (väntan på container, tid för att släppa fram lastväxlarbilarna etc.).

Det bör poängteras att underhållstiden är något underskattad eftersom den inte innefattar tid för tankning före eller efter arbetsdagen. De organisatoriska avbrotten bör kunna minskas genom bättre planering. De flesta av de organisatoriska avbrotten uppstod under en av studiedagarna då transportavståndet till mottagaren var långt för lastväxlarbilarna, d.v.s. containerhuggbilen fick vänta ovanligt länge på tomma containrar. Bortser man från denna dag sjunker de organisatoriska avbrotten till 0,35 minuter per ton TS. Denna sänkning motsvarar en prestationsökning på knappt 4 procent per verktimme för huggbilen. Det är orealistiskt att tro att det går att helt eliminera de organisatoriska avbrotten. Den avbrottstid som beror på att bilarna får vänta för att släppa fram varandra på avlägget kommer man aldrig ifrån och en del väntetid för huggbilen på grund av brist på containrar kommer alltid att uppstå.

De faktorer som avgör vilket system som är fördelaktigast att välja, containerhuggbilar med lastväxlarsystem eller skotarmonterad flishugg med flisbalja och flisbilar med kranlastning, är främst objektstorlek och avståndet mellan grotvältan och omlastningsplatsen. I och med att skotarhuggen har en relativt hög flyttkostnad gynnas den av större objekt, där kostnaden kan fördelas på en stor mängd skogsbränsle.

Hugglinken i gång med med flisning respektive stående overksam på avlägget i väntan på att flisbilen ska återkomma efter en flisleverans.

Containerhuggbilen påverkas mindre av objektsstorleken eftersom flyttkostnaden är lägre än för skotarhuggen som en följd av att det går relativt snabbt att flytta till nästa objekt. Flyttkostnaden som uppstår är kostnaden för tiden att koppla släpet till bilen och körtiden till det nya objektet.

Ju längre sträcka flisen måste transporteras mellan grotvältan och den omlastningsplats där lastbilen kan hämta flisen, desto sämre klarar sig den skotarbaserade huggen i jämförelsen. Skälet är att hastigheten skotaren kan hålla är betydligt lägre än lastbilens. Huggbilens stora nackdel är att den förutsätter att groten är skotad fram till vägkant och att bilen står på vägen under flisningen, vilket innebär att vägen är helt eller delvis blockerad under flisningen. Det är också ofrånkomligt att en viss nedskräpning av vägen sker vid hanteringen. En skotarburen hugg klarar av grotvältor som lagts en bit från vägen och kan även stå och flisa bakom en välta som ligger mot väg, vilket lämnar vägen fri för trafik.

## Hugglink

ToMo AB har byggt ett flisningssystem som består av en dragbil, en hugglink och en flistrailer. På hugglinken är en Bruks-Klöckner 805 CT flishugg monterad på en vagn som kan kopplas mellan dragbilen och trailern och som kan ställas av på avlägget fram till dess att flisningen är klar på objektet. Ekipaget körs till avlägget, hugglinken kopplas loss och placeras vid grotvältan och dragbilen med trailer ställs bredvid så att flisning av groten kan ske direkt i trailern. Genom att lämna den tunga hugglinken på avlägget kan flistrailerns nyttolast maximeras. När flisningen på objektet är klart tas hugglinken med då avlägget lämnas. Hugglinken är utrustad med fyra stödben som med hjälp av hydraulik kan manövreras separat, vilket gör det möjligt att flytta hugglinken i sidled ut över diket mellan vägen och grotvältan och därmed få en bättre räckvidd.

Hugglinken har studerats vid flisning av lagrad, täckt grangrot. Flisningsprestationen var då 68 $m^3s/G_0$-timme, vilket är jämförbart med prestationsnivån hos en konventionell huggbil. Vid studien var avståndet till mottagaren relativt kort, 25 km. Tiden fram och tillbaka tog 1,5 till 2 timmar per lass, d.v.s. längre tid än vad det tog att flisa lasset. Detta indikerar att om flishuggen ska kunna utnyttjas effektivt bör två flisekipage användas i ett hugglinksystem.

I likhet med lastbilsmonterade flishuggar är hugglinken beroende av att grotvältan är placerad vid väg men hugglinkens möjlighet att flytta sig i sidled ger en ökad räckvidd. Då endast en bil används för flistransporten har hugglinksystemet ungefär lika stor lastkapacitet och utnyttjar flishuggen i samma omfattning som en konventionell huggbil. Med fler flisbilar i systemet ökar utnyttjandet av flishuggen. Eftersom hugglinken kan betjäna flera flisbilar är hugglinkskonceptet intressant för stora objekt med medellånga till långa tranportavstånd till mottagaren. Konceptet är inte avhängigt sönderdelning med flishugg. Man kan mycket väl tänka sig att utrusta linken med en mindre kross för att kunna hantera både grot och stubbar.

### Fortsatt FoU-behov

Förutom prestationen vid sönderdelning påverkas den totala kostnaden för olika huggbilssystem av en mängd andra faktorer såsom maskinutnyttjande, lastvikt, transportavstånd och arbetsorganisation. För att kunna beräkna och jämföra kostnaderna för olika system under skiftande förutsättningar bör systemanalyser av alla huggbilssystem genomföras.

Hugglinken studerades när systemet var relativt nytt. När systemet varit i praktisk drift en tid bör uppföljande studier göras.

SuperGrip II

# A-GRIPEN ÖKAR PRODUKTIVITETEN

Lars Eliasson & Berndt Nordén, Skogforsk

En ny, asymmetrisk grip, A-gripen, med en kort och en lång skänkel har studerats vid skogsbränslehantering. Den har studerats vid skotning av delkvistade träddelar och av grot samt vid matning av grot i flishugg. I det förstnämnda fallet framkom inga skillnader jämfört med vanlig virkesgrip. Vid grotskotning var produktiviteten nära 10 procent högre med A-gripen än med konventionell risgrip. Däremot var en konventionell risgrip effektivare än A-gripen vid matning av lösgrot i flishugg.

De tre typerna av gripar som studerades, ovan en A-grip, nedan från vänster en virkesgrip och en risgrip.

**Under vintern 2008-2009** lanserade Hultdins System AB i Malå en ny grip, A-gripen, med en kort och en lång sidoskänkel. I en tidigare studie som Skogforsk genomfört i andragallring gick skotningsarbetet 1,4 procent snabbare än med en vanlig virkesgrip. För att undersöka om A-gripen även var effektivare än konventionella gripar vid hantering av skogsbränsle genomfördes en försöksserie i samarbete med Stora Enso Bioenergi AB och Sydved AB. I försöksserien studerades A-gripen vid skotning av delkvistade träddelar, skotning av grot, hantering på avlägg vid flisning av grot samt lastning och lossning vid lastbilstransport av lösgrot.

Vid skotning av delkvistade träddelar i klen förstagallring kunde inga prestationsskillnader mellan en konventionell virkesgrip och A-gripen urskiljas. Under studien observerades att griparna hade olika för- och nackdelar. Virkesgripen har en geometri som gör den bättre på att hålla fast enstaka bitar än A-gripen. A-gripen var bättre på att plocka upp virke från marken utan att ris och röjstammar följde med, vilket medförde att föraren i högre utsträckning lade ihop flera högar innan virket lyftes upp på lasset. En nackdel med virkesgripen var att den hade en större tendens att bryta sönder det klena virket än A-gripen.

När A-grip användes vid skotning av grot ökade prestationen från 5,6 till 6,1 ton TS per $G_0$-timme, d.v.s. med 9,1 procent, jämfört med risgripen. Detta beror till stor del på att föraren fick med mer material per krancykel då A-gripen användes. Under studien noterades att lastning med A-gripen gav ett risknippe som påminde om en kärve då den p.g.a. sin konstruktion orienterade riset parallellt i gripen då den nöp ihop om en grothög. Dessa ”riskärvar” behöll sin form i lasset, vilket underlättade lossningen.

Mängden föroreningar i lassen följdes upp i båda skotningsstudierna. Föroreningarna består av jord och sand som följer med gripen när den greppar om virket eller groten nära marken. Även en del underväxtträd kan klämmas fast och ryckas upp med vidhängande jordklump för att sedan hamna i lasset. Resultaten från studierna visar att risken för att föroreningar följer med i lasset inte är högre för A-gripen än för de konventionella griparna.

| Arbetsmoment | Material | Jämförelse | Effekt på tidsåtgången |
|---|---|---|---|
| Skotning | Rundvirke (andragallring) | A-grip/ Virkesgrip | A-gripen var likvärdig vid lastning och 4,4 % snabbare vid lossning. |
| Skotning | Delkvistade träddelar (förstagallring) | A-grip/ Virkesgrip | Ingen konstaterade skillnader mellan griparna. |
| Skotning | Grot | A-grip/ Risgrip | A-gripen var 11,4 % snabbare vid lastning och 17,2 % vid lossning. |
| Flisning | Grot (Avlägg) | A-grip/ Risgrip | Flisningen gick 0–50 % långsammare då A-gripen användes för matning. Grot som var uttransporterad med A-gripsförsedd skotare gick 20 % snabbare att flisa än grot som var uttransporterad med skotare försedd med risgrip. |
| Vidaretransport av lösgrot med lastbil | Grot/träddelar | A-grip/ stor Risgrip | Ingen skillnad vid lastning. A-gripen var 25 % långsammare vid lossning beroende på att den studerade A-gripen var mindre än risgripen. |

Resultat från jämförande studier av A-grip och konventionella gripar.

Två studier gjordes av A-gripen vid matning av Bruks 805 CT flishugg. I den första studien var huggen monterad på en skotare och i den andra på en huggbil. Vid studien av flisning av grot med skotarburen hugg begränsade flishuggens kapacitet produktiviteten och inga skillnader mellan de två griptyperna kunde noteras. I studien av huggbilen däremot ökade tidsåtgången för flisningsarbetet med ca 50 procent när A-grip användes. Skälet till att det här skiljde mellan griptyperna var att kranarbetet var det som begränsade produktiviteteten hos huggbilen, inte huggens kapacitet. Huggbilen flisade ungefär dubbelt så mycket material per uppställningsplats som den skotarburna huggen. Mer tid gick därför åt för kranarbetet när grot längst bort från huggen greppades. Med andra ord, tidsåtgången för kran-cyklerna var i medeltal högre för huggbilen än för den skotarburna huggen.

Förarna i båda studierna upplevde att den vanliga risgripen var bättre än A-gripen när man skulle städa området där vältan legat. Den omständligare städningen med A-gripen ökade tidsåtgången för flisning och efterarbeten då huggbilen var utrustad med A-gripen. Förarna av den skotarburna huggen lät bli att städa när de använde A-gripen och städade med sin ordinarie grip efter avslutad studie.

I huggbilsstudien undersöktes också om användningen av A-grip vid grotskotning påverkade flishuggens prestationsnivå. Flisningstiden för vältor som lagts upp av en A-gripsförsedd skotare visade sig vara ca 20 procent kortare än för de som lagts upp av en risgripsförsedd skotare, vilket troligen beror på en bättre struktur i vältorna.

Sammanfattningsvis leder flisningstudierna till rekommendationerna att använda vanliga risgripar på flishuggar som flisar vältlagd grot och att använda A-gripen vid grotskotning. På små objekt bör det vara intressant att låta en skotare med A-grip skota både rundved och grot.

Den A-grip som användes på den studerade lösgrotsbilen var för liten. Storleksskillnaden mellan griparna försvårade därför utvärderingen så pass mycket att det inte går att säkert uttala sig om för- och nackdelar med de två griptyperna. Med A-gripen uppstod delvis samma problem med städningen som för flishuggarna.

En generell observation från försöksserien är att eftersom olika gripar har skilda för- och nackdelar på grund av konstruktion och geometri är det viktigt att föraren är villig att anpassa sitt arbetssätt för att på bästa sätt utnyttja fördelarna med respektive grip.

**Fortsatt FoU-behov**

Ny teknik för skogsbränslehantering bör utvärderas löpande. Ytterligare studier av A-gripen kan behöva genomföras vid uttag av träddelar och delkvistat material i förstagallringar.

Willibald 5000, krossning av grot.

# BRÄNSLEFÖRBRUKNING VID SÖNDERDELNING AV SKOGSBRÄNSLE

Paul Granlund, Granlund LB-Teknik

Dieselförbrukningen står för en stor del av entreprenörens kostnader vid sönderdelning av skogsbränsle men har tidigare undersökts i liten omfattning. Ett flertal sönderdelningsmaskiners bränsleförbrukning har därför studerats. Sönderdelningen sker med huggar eller krossar. Huggarna kan inte användas för stubbar medan krossarna kan användas för alla material. Resultaten visar att en effektiv sönderdelningsmaskin ger ca 200-300 gånger mer energi i form av skogsbränsle än vad som tillförs i form av diesel. Resultaten antyder även att vid sönderdelning av grot är huggar bränslesnålare än krossar, vilket är logiskt med tanke på sönderdelningsprincipen.

**Idag sker tillvaratagande** och transport av skogsbränsle helt och hållet med maskiner och fordon som drivs av dieselmotorer av varierande storlek. Priset på fordonsbränsle stiger och utgör idag en stor del av entreprenörens kostnader. Bränsleförbrukningen hos maskinen i förhållande till det den producerar (effektiviteten) har således stor betydelse för lönsamheten.

Sönderdelningen av skogsbränsle med huggar ger en jämnare flis. Flishuggar är känsliga för föroreningar i materialet och kan inte användas för stubbar.. Krossarna kan användas för alla material. Bränsleförbrukningen hos krossarna har av brukarna bedömts vara ”hög” men mer exakta uppgifter har saknats. Sex olika maskiner har studerats, varav en eldriven, stationär kross, en huggbil och fyra dieseldrivna krossar.

Studierna har utförts vid sönderdelning av olika material, grot, stubbar eller rundved. Två av krossarna, CBI 8400 och Komptech Crambo 6000, har studerats vid sönderdelning av olika sorts skogsbränsle. Willibald och Komptech hade vid studietillfället slitna krossverktyg som inte gav ett godtagbart resultat vare sig prestationsmässigt eller kvalitetsmässigt.

Studierna visar att en effektiv sönderdelningsmaskin bör ge ca 200-300 gånger mer energi i form av färdigbearbetat skogsbränsle än vad som förbrukats i form av diesel för att sönderdela det. Om man bortser från den eldrivna stationära krossen så antyder resultaten att flishuggar är effektivare än krossar för sönderdelning av grot. Eftersom endast en flishugg studerats behöver dock fler studier genomföras för att få detta bekräftat.

CBI 8400, krossning av rundvirke.

Bruks lastbilsmonterade flishugg 805, flisning av grot.

**Fortsatt FoU-behov**

Projektet är ännu inte avslutat. Närmast kommer studierna av Komptech Crambo 6000 att göras om med nya krossverktyg. Förutom de redan studerade maskinerna kommer ytterligare ett antal maskiner att ingå i undersökningen.

| Maskin | Motor-styrka, KW | Sönder-delning | Material | Energiåtgång, kW diesel (el) /ton TS | Bränsle-åtgång, l/h | Kvot energi ut/ energi in |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Willibald 5000 | 338 | Sidinmatad Kross | Grot | 56,3 | 40,1 | 94,1 |
| Doppstadt DW-3060 (grovkrossning) | 321 | Toppmatad Kross | Stubbar | 23,3 | 36,8 | 222 |
| Svedala eldriven (finkrossning) | 800 | Sidinmatad Kross | Förkrossade stubbar | 4,7 | — | 1094 |
| CBI 8400 (finkrossning | 783 | Sidinmatad Kross | Stubbar | 25,0 | 97 | 207 |
| CBI 8400 | 783 | Sidinmatad Kross | Grot | 19,6 | 113 | 271 |
| CBI 8400 (finkrossning) | 783 | Sidinmatad Kross | Rundved | 22,9 | 186 | 226 |
| Huggbil, Bruks 805 | 412 | Sidinmatad flishugg | Grot | 18,9 | 48,7 | 280 |
| Komptech Crambo 6000 | 328 | Toppmatad Kross | Grot | 87,7 | 87,0 | 60,4 |
| Komptech (grovkrossning) | 328 | Toppmatad Kross | Färska stubbar | 80,8 | 60,2 | 64,1 |
| Komptech (grovkrossning) | 328 | Toppmatad Kross | Torra stubbar | 33,2 | 61,4 | 156 |

Sönderdelningsmaskiner som studerats. ”Kvot energi ut/energi in” är ett mått på maskinernas effektivitet och anger förhållandet mellan den energi som finns i det bearbetade skogsbränslet och den energi i form av diesel (el) som använts för sönderdelningen.

# FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR ÖKAD JÄRNVÄGSTRANSPORT AV SKOGSBRÄNSLE

Johanna Enström, Skogforsk

Områden med stora tillgångar på skogsbränsle och de med stor efterfrågan kan bindas samman med hjälp av långväga transporter. För att kostnaderna inte ska bli alltför höga krävs effektiva transportlösningar. Med hjälp av ett kalkylverktyg som Skogforsk skapat har de viktigaste kostnadspåverkande faktorerna vid järnvägstransport av skogsbränsle identifierats. Vi har också kartlagt tänkbara mottagare för järnvägstransporter av skogsbränsle i Sverige. Endast 6 av de 44 värmekraftverk som förbrukar minst 100 GWh skogsbränsle årligen har direkt spåranslutning. Då lossning från tåg direkt vid energianläggningen oftast inte är ett alternativ, blir effektivisering av kombinationen lastbil-tåg-lastbil viktig för att skapa möjligheter till långväga transporter.

**Fjärrtransporter av skogsbränsle** med tåg eller båt är ett intressant alternativ, i synnerhet för stora förbrukare som har svårt att försörja sina pannor lokalt. Igelstaverket i Södertälje och Hedensbyverken i Skellefteå är två exempel på anläggningar som valt att köpa skogsbränsle utanför närområdet och frakta det via tåg och båt. I Sverige förekommer idag regelbunden tågtrafik med skogsflis i containrar. Enligt de uppgifter vi har rör det sig om volymer motsvarande 1 TWh årligen. Genom att långväga transporter möjliggörs praktiskt och ekonomiskt sker en utjämning av prisbildningen på skogsbränsle som leder till att bränsleuttag blir lönsamt på fler objekt och i större regioner. För att fjärrtransporter av skogsbränsle ska utnyttjas i större omfattning än idag krävs en effektivisering av transportsystemet på järnväg.

De ekonomiska förutsättningarna för järnvägstransporter är svåra att överblicka eftersom kostnaderna varierar stort. För att skapa en bild av kostnader och påverkande faktorer har Skogforsk därför skapat ett kalkylverktyg som använts för att göra ekonomiska analyser av olika transportalternativ på järnväg. De ekonomiska analyserna och praktiska studier visar att följande faktorer är de som har störst betydelse för kostnaderna vid järnvägstransport:.

- Antal leveranser som ett tågset gör per år
- Fyllnadsgraden per leverans
- Transportavståndet
- Hanteringen vid lastning och lossning
- Förutsättningarna vid tågrangering (elanslutning)

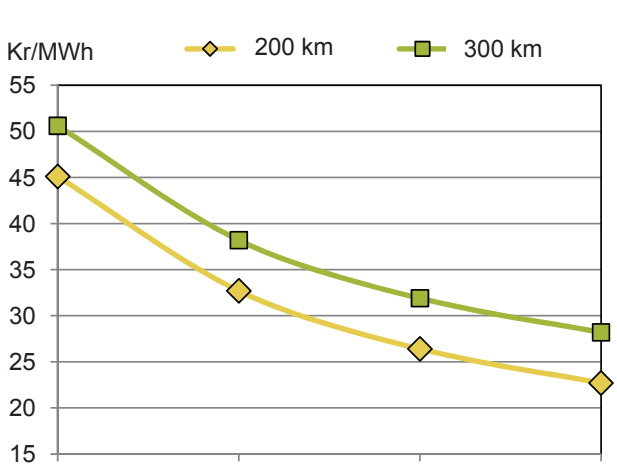
De fasta kostnaderna är höga vid järnvägstransporter (50 - 60 procent.) Att få ner kostnaderna handlar således i hög grad om att kunna slå ut de fasta kostnaderna på en stor volym, d.v.s. att utnyttja järnvägsvagnarnas lastkapacitet maximalt.

Figuren till höger beskriver hur transportkostnaden för två olika transportavstånd påverkas av antalet leveranser per vecka. Transportavståndet har viss betydelse för de rörliga kostnaderna men det påverkar framför allt förutsättningarna för hur många leveranser som hinns med per vecka. Även tidsåtgången vid terminalhanteringen påverkar antalet möjliga leveranser per vecka. En snabb och effektiv hantering på teminalerna är således viktigt och kan åstadkommas genom en genomtänkt internlogistik som bl.a. minimerar köravstånden för maskinerna vid lastning och lossning.

I ett examensarbete har tänkbara svenska mottagare av skogbränsle via järnvägstransporter kartlagts. På kartan syns de 44 värmekraftverk i Sverige som förbrukar >100 GWh skogsbränsle årligen. Studien visar att endast 6 av dessa har direkt spåranslutning, men att många (ca 20 st) har järnvägsspår i närheten av anläggningen. Eftersom lossning av skogsbränsle direkt vid anläggningen inte är möjligt för flertalet värmekraftverk accentueras behovet av att effektivisera kombinationen lastbil/tåg/lastbil samt övergångarna där emellan om omfattningen ska öka.

I en pågående studie analyseras därför transportsystemet på järnväg tillsammans med den tidigare delen av logistikkedjan för skogsbränsle, d.v.s. från skog till järnvägsterminal och vidare till förbrukarna. Det är bl.a. viktigt att undersöka när och i vilken utsträckning omvägen via terminal vägs upp av den effektivare vidaretransport och sönderdelning av skogsbränsle som kan organiseras på en terminal.

För att öka effektiviteten i anslutande transporter till järnvägen undersöks också om större vägfordon för flistransporterna är möjligt att använda. Idag är bestämmelserna för tillåten bredd och lastvikt på transporterade containrar generösare för järnväg än för vägtransporter. Om lastvikterna för containerbilar kunde ökas skulle omlastning av hela containrar möjliggöras utan att tappa allt för mycket av tågens transportkapacitet. För att kunna analysera detta närmare krävs dock flera studier.




Exempel på kostnad för järnvägstransport av flis vid olika avstånd och antal veckoleveranser, kr/MWh.

**Fortsatt FoU-behov**

- Vidare studier av möjligheten att flytta över material mellan bil och järnväg utan omlastning på marken.
- Lösa tekniska delproblem så som att öka kompakteringen av flisen samt förhindra fastfrysning i containrarna.
- Terminalernas samordnande roll i effektivisering och optimering av lagring, transport, sönderdelning, mätning och sortering av skogsbränsle.
- Ökad samverkan mellan aktörerna för att skapa effektiva flöden. T.ex. hitta returlaster.

Värmekraftverk som förbrukar minst 100 GWh skogsbränsle årligen. Det svenska järnvägsnätet antyds i bilden.

# EFFEKTIVISERING AV JÄRNVÄGSTRANSPORT AV SKOGSBRÄNSLE

Johanna Enström, Skogforsk

Hög transportkostnad är den mest begränsande faktorn då det gäller att öka tillgången på skogsbränsle. Effektiva transportlösningar är därför en av de viktigaste frågorna för utvecklingsarbetet. Rationella system för lastning, lossning samt lastväxling mellan lastbil och järnväg kan bidra till lösningen. Containertypen styr i hög grad vilken teknik som kan användas vid lastning och lossning av flis. Tre system för flistransport på järnväg har studerats, Innofreights system, konventionellt containersystem med lastväxlarflak och Kockums vridbänksvagn. Alla tre systemen har för- och nackdelar.

**Vid samtliga studier** lastades flisen från en hög på marken vid terminalen med hjullastare eller separatlastare försedd med skopa. Flisen tömdes i containrar som redan var placerade på järnvägsvagnarna och lyftes av tåget först vid lossningen hos mottagaren. Under tågtransporten var alla containrar öppna upptill. Det krävs inte någon täckning av lasten för flistransporter på järnväg i Sverige. Tidsåtgång och maskinresurser vid lastningen varierade kraftigt, främst beroende på flishögarnas spridning och avstånd till järnvägsspåret. Den högsta prestationen som uppmättes under studierna var med en hjullastare som lastade ca 550 m³s flis per timme.

**Innofreights system**
Stora containers (46m³ eller 53m³) töms genom att vändas upp och ner med truck. Detta är det system som används idag för de anläggningar som flera gånger i veckan tar emot flis som transporteras på järnväg.

+ Specialanpassade containrar gör att större volym flis kan transporteras per järnvägsvagn.
+ Trucken med vriddon ger en effektiv lossning.
- Nischat systemet. Lossningstrucken har få andra användningsområden och får därför lågt utnyttjande.
- Truckens gafflar är specialanpassade för dessa containrar, vilket gör att den inte kan hantera andra containertyper som är byggda enligt standard.

**Konventionellt containersystem med lastväxlarflak**
Containrarna kan användas på både bil och järnväg förutsatt att det finns gaffeltunnlar på containrarna. En mindre gaffeltruck lyfter ner containrarna från järnvägsvagnen. En lastbil med krok drar sedan upp dem på bilen och tömmer lasten genom bakåttippning. Containrar kan även dras över till ett släp som kopplas till bilen om containrarna ska köras en längre sträcka före tömning.

+ Eftersom containrarna står på en lastbil är en längre körsträcka till tömningsplatsen inget större problem.
+ Endast standardkomponenter ingår.
- Något högre tidsåtgång vid lossningen jämfört med Innofreights system (kan kortas med fler lastbilar).
- En konventionell fliscontainer kan inte utnyttja tågets fulla lastkapacitet. Lastbilens viktbegränsning på allmän väg är ca 14 ton/container och tågvagnarnas ca 20 ton/container. Även den tillåtna bredden på containrarna är större för tåg.

Konventionell lastbilscontainer där tunnlarna för hanteringstruckens gafflar ses i nederkanten på containern.

**Kockums vridbänksvagn**
Detta är en teknik som används för att flytta över lastbilscontainrar av standardutförande (rullflak) direkt mellan järnvägsvagn och lastbil. En vändskiva på järnvägsvagnen under varje container gör att lastbilen kan dra över containern till sitt flak och sedan skjuta tillbaka den på järnvägsvagnen efter tömning. Även om det ännu inte tillämpas skulle metoden kunna användas vid lastning för att på en terminal lyfta på fyllda containrar.

+ Ökad flexibilitet då inga extra maskiner behövs vid lastning och lossning.
+ Containrarna och lastbilarna är i standardutförande och ingen extrautrustning krävs på lastbilarna.
- Järnvägsvagnarna är specialdesignade och ca 20 procent dyrare att anskaffa än vanliga vagnar. De finns ännu inte serietillverkade.
- Hög tidsåtgång vid lossning (ca 10 minuter/container från tåg till bil).
- Standardcontainrarna utnyttjar inte järnvägsvagnarnas lastkapacitet maximalt.

**Fortsatt FoU-behov**
En intressant fråga att utreda är hur vanliga system för containerhantering (enligt ISO-standard) som används inom andra branscher, skulle fungera för skogsbränsle. Sådan containerhantering i kombination med fasta installationer vid mottagningen är också värt att belysa. Dessa frågeställningar blir extra intressanta om man tar med möjligheten att även transportera skogsbränslet med båt. Båttransporter öppnar för en internationell marknad för skogsbränsle. Vidare är det viktigt att det sker en utveckling av konkurrenskraftiga, flexibla transportlösningar även för små skogsbränslevolymer.

Lastning av tåg med separatlastare.

# INLANDSBANAN

## – EN MÖJLIG TRANSPORTLED FÖR SKOGSBRÄNSLE

Johanna Enström, Skogforsk

Inlandsbanan, den 140 mil långa järnvägssträckan mellan Gällivare i norr och Kristinehamn i söder, har potential att bli en viktig transportled för skogsbränsle. En studie vi genomfört visar att en tredjedel av Sveriges produktiva skogsmark (6,9 milj. ha) finns inom fem mils avstånd från Inlandsbanan. Energin från det skogsbränsle som bedöms möjligt att årligen ta ut inom området motsvarar nära 6 TWh.

**Ett tillgängligt och väl** underhållet järnvägsnät är en given förutsättning för att öka möjligheterna till långväga transporter av skogsbränsle. Idag finns flaskhalsar i järnvägsnätet som gör det störningskänsligt. Det finns också banor som skulle kunna användas för skogsbränsletransporter men som har fått förfalla och nu kräver upprustning för att klara godstrafik.

Inlandsbanan är en 140 mil lång järnvägssträcka mellan Gällivare i norr och Kristinehamn i söder, vilken till större delen är trafikerbar, men bitvis kräver upprustning. Vi har i en studie kartlagt möjligheterna för Inlandsbanan att fungera som transportled för skogsbränsle och på så sätt bidra till att stora skogsbränsletillgångar i Norrlands inland skulle kunna utnyttjas. Längs järnvägen ansluter eller korsar ett antal tvärbanor ut mot kusten. Möjligheter finns därför att transportera skogsbränsle både söderut, till bl.a. Mälardalsregionen och de större förbrukarna där, eller till hamnar längs

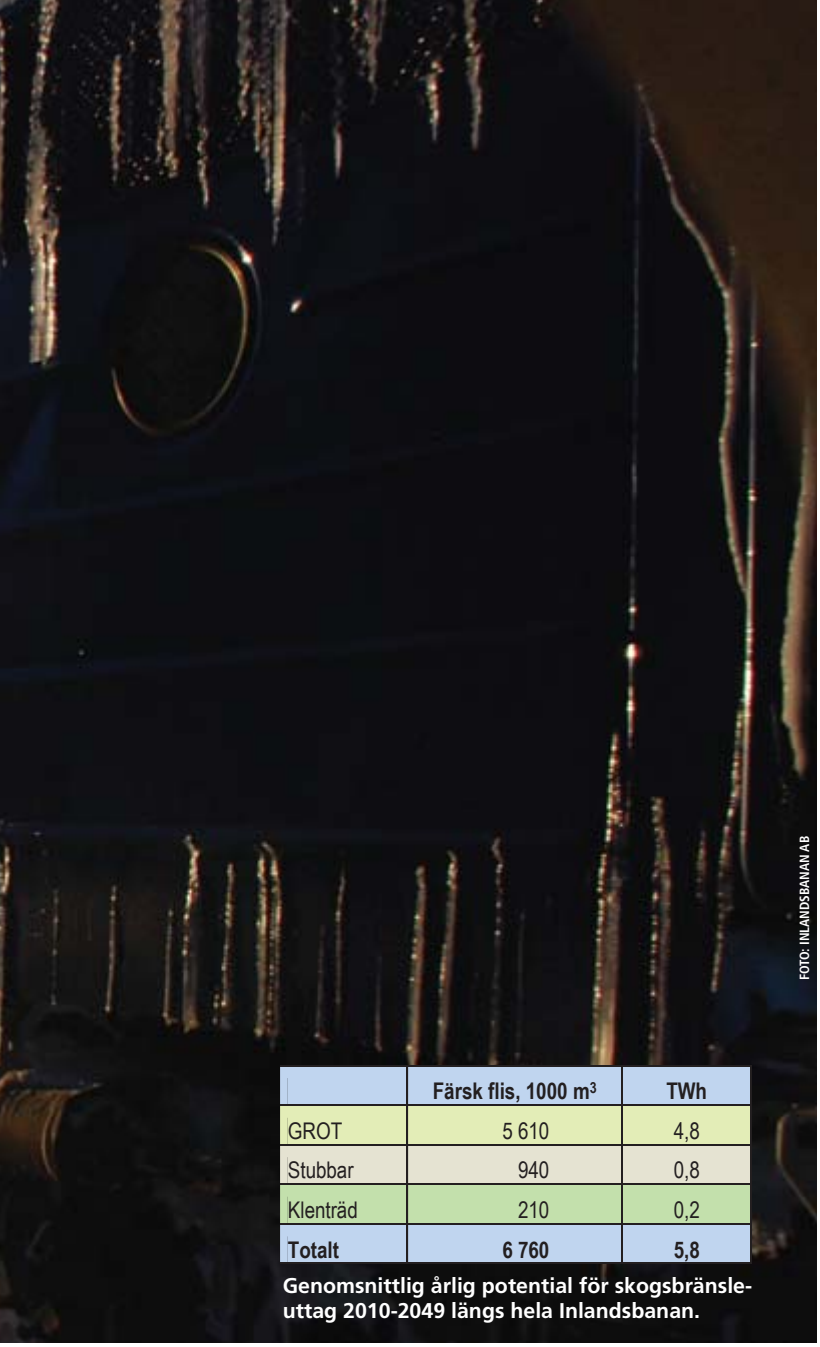
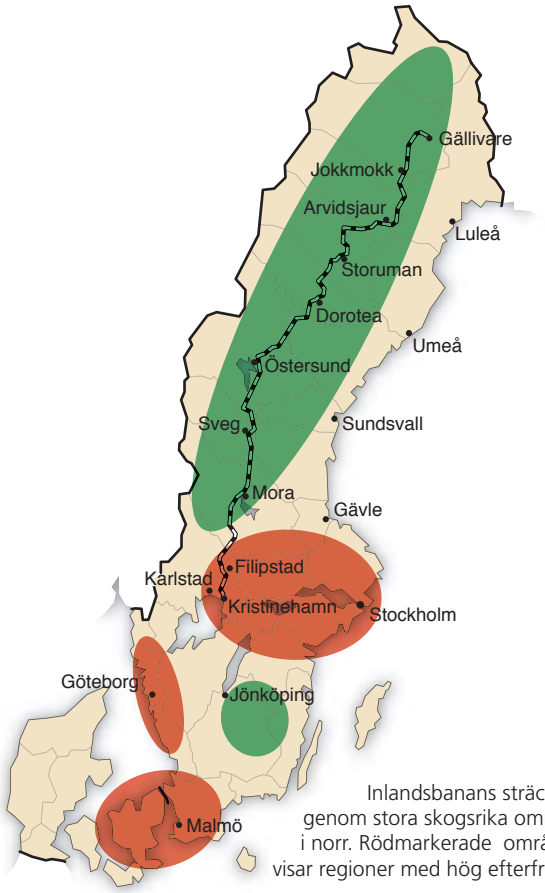


FOTO: INLANDSBANAN AB

| | Färsk flis, 1000 m³ | TWh |
|---|---|---|
| GROT | 5 610 | 4,8 |
| Stubbar | 940 | 0,8 |
| Klenträd | 210 | 0,2 |
| **Totalt** | **6 760** | **5,8** |

**Genomsnittlig årlig potential för skogsbränsle-uttag 2010-2049 längs hela Inlandsbanan.**




Inlandsbanans sträckning genom stora skogsrika områden i norr. Rödmarkerade områdena visar regioner med hög efterfrågan.

**Fortsatt FoU-behov**

Tillgängligheten på det svenska järnvägsnätet påverkar i hög grad förutsättningarna för att kunna öka transporterna av skogsbränsle med järnväg. Många bandelar är idag klassade som överbelastade vilket gör systemet störningskänsligt. Hur stora begränsningarna är och hur det påverkar förutsättningarna för transport av skogsbränsle behöver därför studeras vidare.

norrlandskusten. Alla tvärbanor är idag inte i trafikerbart skick och huvudbanan är öppen för godståg endast mellan Mora och Arvidsjaur.

Studien visar att 6,9 miljoner ha eller en tredjedel av Sveriges produktiva skogsmark finns inom fem mils avstånd från Inlandsbanan. Inom det området finns omkring en fjärdedel av det svenska virkesförrådet.

Trendframskrivningar har gjorts för att beräkna den årliga mängden skogsbränsle som skulle kunna tas ut längs banan de kommande 40 åren. Följande förutsättningar gjordes vid beräkningen:

- Uttag av 80 procent av groten på 70 % av slutavverkningsarealen.
- Uttag av 70 procent av stubbarna på 10 % av slutavverkningsarealen.
- Uttag av klena träd på 30 % av arealen tidig gallring varvid 25 procent av grenveden beräknas medfölja.

Totalt skulle det årliga uttaget av skogsbränsle längs Inlandsbanan kunna uppgå till nära 7 milj m³ flis motsvarande ett energiinnehåll på knappt 6 TWh. Den lokala, årliga förbrukningen av biobränsle längs Inlandsbanan är idag ca 1,8 TWh. I denna bränslemängd ingår förutom skogsbränsle även torv och sågverksbiprodukter. Överskottet av skogsbränsle inom området motsvarar således minst 4 TWh/år. För järnvägstransport av denna volym skogsbränsle skulle ca 2 000 tågset krävas.

Tillgång på platser för terminaler efter Inlandsbanan är ingen flaskhals för att kunna utnyttja banans potential, däremot de stängda bandelarna som begränsar anslutningsmöjligheterna till kusten och söderut. Även trafikledningssystemet skulle behöva moderniseras om trafiken skulle öka kraftigt på banan.

# DATORSIMULERINGAR FÖR JÄMFÖRELSER AV GROTSYSTEM

Petrus Jönsson & Lars Eliasson, Skogforsk

För att under likvärdiga förhållanden kunna utvärdera och jämföra olika befintliga grotsystem har Skogforsk byggt en simuleringsmodell. Den kan för närvarande användas för analyser av de flesta vanligt förekommande grotsystem. På sikt ska den även användas för att i förväg analysera kapacitet, kostnad, utnyttjandegrad, konkurrenskraft m.m. för system som endast finns på idéstadiet.

**Med simuleringstekniken** kan jämförande analyser av olika system göras under likvärdiga förhållande. Det innebär att man kan studera vilket av två eller flera olika grotsystem som är bäst med avseende på t.ex. prestationer, kostnader och maskinutnyttjande när de används på samma objekt, med samma volymer, transportavstånd etc. Med simuleringsmodellen kan man också byta ut de ingående komponenterna i systemen såsom transport- och sönderdelningsmaskiner för att skräddarsy system som är anpassade för ett företags specifika förutsättningar, d.v.s. var i landet man är verksam, objektens utseende, avstånd till mottagare, teknisk utnyttjandegrad på maskiner m.m. Det är också möjligt att analysera olika grotsystems konkurrenskraft under ett helt verksamhetsår och i olika regioner av landet.

Utnyttjande av simuleringsteknik möjliggör även undersökningar på förhand av vilken kapacitet, kostnad, utnyttjandegrad samt vilka skiftformer som krävs för att ett system som endast finns på idéstadiet ska kunna konkurrera med redan befintliga.

Idag kan simuleringsmodellen användas för att analysera följande grotsystem:

**Lösgrot**
Skotning av grot, lösgrotsbil till mottagare, sönderdelning hos mottagare.

**Traktorhugg+container**
Skotning av grot, flisning på avlägg + tippning av flis i container, transport med lastväxlarbil till mottagare.

**Traktorhugg+skopbil**
Skotning av grot, flisning på avlägg + tippning av flis i hög, lastning och transport med kranförsedd flisbil till mottagare.

**Huggbil**
Skotning av grot, flisning på avlägg och transport till mottagare med huggbil.

**Containerhuggbil**
Skotning av grot, flisning i containrar på avlägg, transport med lastväxlarbil till mottagare.

**Buntare**
Buntning på hygge, skotning av buntar, buntbil till mottagare, sönderdelning hos mottagare.

**Flisning på hygge**
Flisning på hygget, tippning av flis i container på avlägg, transport med lastväxlarbil till mottagare.

En första utvärdering av systemen **lösgrot**, **traktorhugg+skopbil** och **containerhuggbil** pågår och de första resultaten väntas vara klara att redovisas under hösten.

En fråga som simuleringsmodellen kommer att belysa är effekterna på kostnaderna i hela systemet om flishuggen tippar flisen i containrar eller på marken – Vid användning av containrar måste samspelet mellan hugg och containerbil fungera smidigt om arbetet ska vara effektivt. Om flisen tippas på marken kan huggen arbeta oberoende av vidaretransporten av flisen men risken för att det blir kvar flis på avlägget samt för föroreningar i den levererade flisen ökar.

**Fortsatt FoU-behov**

Det är fullt möjligt att bygga vidare på simuleringsmodellen så att den kan användas för utvärdering av t.ex. järnvägstransporter och terminalhantering och även för att utvärdera biobränsleflöden på regional eller nationell nivå.

Modellen möjliggör kostnadseffektiva systemjämförelser inte bara av skogsbränslesystem och kommer därför att vara ett värdefullt forskningsredskap i framtiden.

# MARGINALKOSTNADSANALYSER STÖDJER REGIONAL SYSTEMUTVECKLING

Dimitris Athanassiades, SLU

Marginalkostnadsanalyser visar vilka volymer skogsbränsle som finns tillgängliga vid en given kostnadsnivå. En beräkningsmodell för att beräkna marginalkostnaden har utarbetats och i ett första test av modellen har marginalkostnaden för grot och stubbar på nationell nivå räknats fram. Beräkningen visar t.ex. att vid en marginalkostnad på 1 000 kr per ton TS klarar vi idag att ta ut all tillgänglig grot i landet och ungefär hälften av stubbarna. Men riksgenomsnitten speglar inte de skiftande förutsättningarna i landet, vilket man måste känna till för att utveckla effektiva skogsbränslesystem. I kommande studier kommer därför det regionala perspektivet att lyftas fram.

**Simuleringsprogrammet Hugin** utnyttjades för att beräkna den potentiella mängden skogsbränsle från grot och stubbar på riksnivå. Med hjälp av uppgifter från Riksskogstaxeringen och de anmälningar av slutavverkningar som görs till Skogsstyrelsen samt GIS-analyser av transportavstånd kunde förutsättningarna för skogsbränsleobjekten vad avser storlek, terräng- och vidaretransportavstånd m.m. fastställas. För skörd av grot respektive stubbved valdes det idag dominerande systemet, d.v.s. för grot skotning, flisning vid avlägg och bilvägstransport till värmeverk och för stubbved stubbrytning skotning, transport av stubbved till värmeverk för sönderdelning med stationär kross. De kostnader som använts i analyserna baseras på erfarenhetstal och studier av de maskiner som ingår i systemen. I kostnaderna ingår även ersättning till markägare samt administrationsomkostnader.

Ett exempel på resultat visas i figuren. Där kan man t. ex. utläsa att vid en högsta marginalkostnad på 1 000 kr per ton TS så klarar vi i princip av att få ut all tillgänglig grot och ungefär hälften av alla tillgängliga stubbar i landet. Man kan också se att endast begränsade kvantiteter skogsbränsle belastas av mycket kraftiga marginalkostnadsökningar. Eftersom den främsta faktorn för stigande marginalkostnad är vidaretransportavståndet betyder detta att vägnätet i Sverige är relativt väl utbyggt.

För att kunna prioritera insatserna vid utveckling av effektiva skogsbränslesystem är det nödvändigt att känna till de regionala variationerna vad gäller volymer, kostnader och andra förutsättningar. I kommande studier, där flera olika skogsbränslesystem jämförs, kommer därför det regionala perspektivet att få en framträdande roll. I dessa studier kommer förutom grot och stubbved även klena träd från röjnings- och gallringsbestånd att ingå. Studierna kommer att omfatta regionala beräkningar av mängden grot, stubbar och klena träd som faller ut från avverkningar under perioden 2010 till 2019. Kostnader för uttag av grot, stubbar och klena träd kommer att beräknas för de flesta av de

maskinsystem som förekommer i Sverige idag. Ersättning till markägare, administrationsomkostnader och kostnader för maskinflyttningar kommer att ingå i beräkningarna. Följande system omfattas:

**Grot**. Skotning till bilväg, sönderdelning vid avlägg, alternativt vid terminal/värmeverk, och vägtransport av flis alternativt lösgrot till terminal/värmeverk.

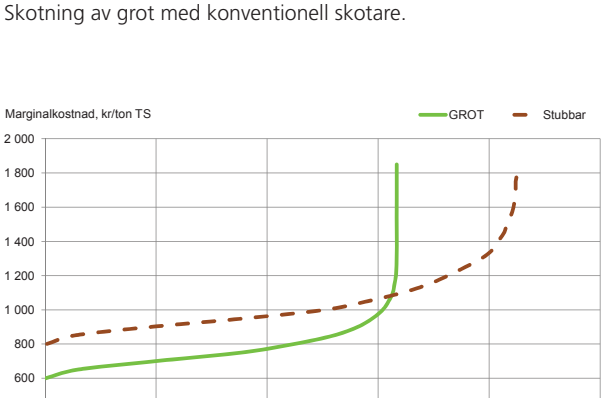
**Stubbar**. Stubbrytning, skotning av stubbdelar till bilväg, vägtransport av stubbdelar till och sönderdelning vid terminal/värmeverk, alternativt grovkrossning vid avlägg och vägtransport av krossade stubbdelar till terminal/värmeverk.

**Klena träd**. Avverkning med flerträdshanterande skördaraggregat och skotning av grovkvistade träddelar till bilväg, sönderdelning vid avlägg och vägtransport till terminal/-värmeverk.

De nivåskillnader i marginalkostnad som förväntas uppstå mellan de tre bränslesortimenten beror delvis på att systemen är olika mycket använda och därmed mer eller mindre utvecklade. Särskilt skörd av stubbar kommer att bli effektivare då erfarenheterna växer och tekniken utvecklas. På sikt kommer då också marginalkostnaderna att sänkas.
Ny teknik, nya systemlösningar eller nya förutsättningar i t.ex. infrastruktur kan också förändra den inbördes ordningen mellan bränslesortimenten.

FOTO: MAGNUS MATISONS, SLU

Skotning av grot med konventionell skotare.




Marginalkostnader på riksnivå för uttag av grot och stubbved.

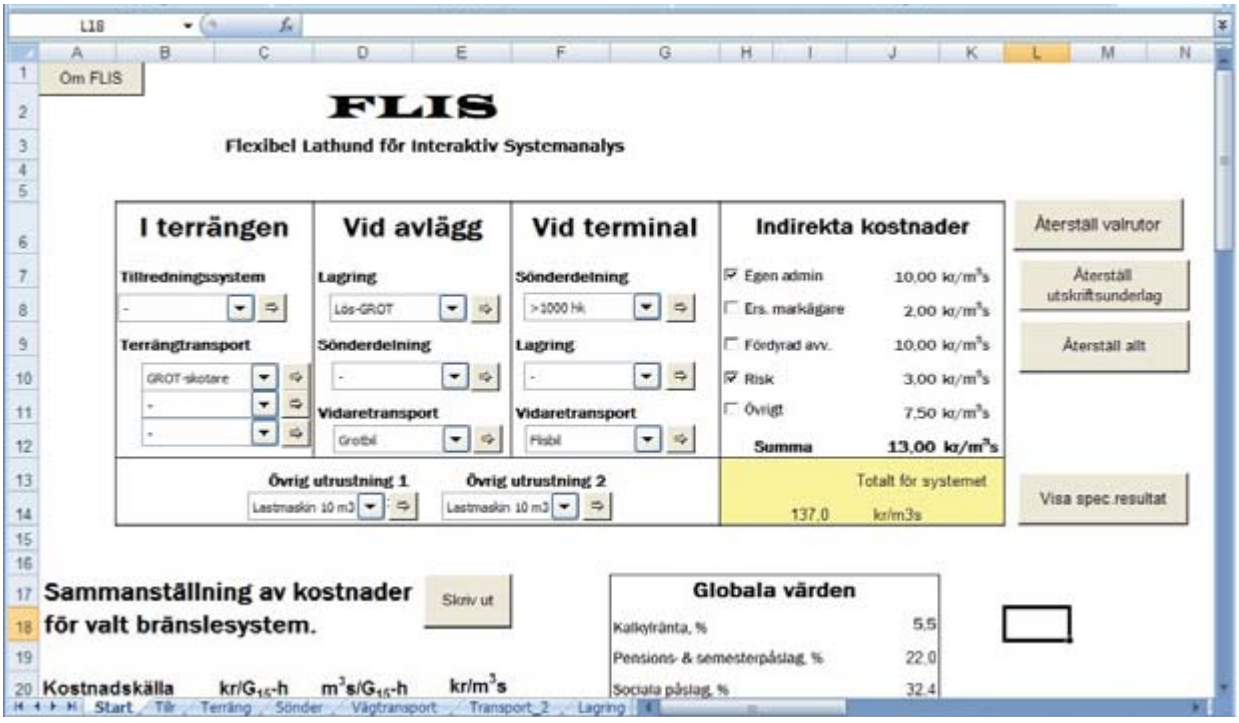
### Beräkning av skogsbränslevolymer med hjälp av Hugin

Hugin är ett simuleringsprogram med vilket det är möjligt att skriva fram ett skogstillstånd på basis av tillväxten för enskilda träd. Med dess hjälp kan skogens totala bruttovolym för olika regioner och landet som helhet beräknas, idag såväl som för olika framtida tidsperioder. Den med hjälp av programmet beräknade bruttovolymen har legat till grund för att räkna fram de potentiella skogsbränslevolymer som finns i landet. Från denna volym har sedan gjorts avdrag för den skog som växer på mark där det finns ekologiska restriktioner enligt Skogsstyrelsens nuvarande rekommendationer samt för arealer som av tekniska eller ekonomiska skäl inte kan utnyttjas idag.

### Fortsatt FoU-behov

Studier av marginalkostnader för uttag av grot, stubbar och klena träd utifrån regionala förutsättningar kommer att genomföras.

Beslutsstöd




# FLIS – KALKYLVERKTYG FÖR INTERAKTIVA SYSTEMANALYSER

Henrik von Hofsten, Skogforsk

Det är svårt att beräkna och fördela skogsbränsleproduktionens kostnader, vilket krävs vid beslut om maskininvesteringar och andra analyser. Excelprogrammet FLIS kan användas för enkla kalkyler för enstaka maskiner men också till avancerade beräkningar för hela skogsbränslesystem. FLIS utvecklas för att bli mer användarvänligt.

**FLIS är ett Excelbaserat kalkylverktyg** som Skogforsk utvecklat. Programmet skapades ursprungligen för att på strategisk nivå kunna beräkna den totala kostnaden per kubikmeter stjälpt mått ($m^3s$) för olika skogsbränslesystem. Sedan dess har programmet omarbetats och utvidgats. Idag är det möjligt att med några musklick enkelt beräkna kostnaderna för såväl hela skogsbränslesystem som för enskilda maskiner, t.ex. att se hur totalkostnaden påverkas när maskiner läggs till eller tas bort.

Beräkningarna fördelas på tre kostnadsområden:

- Terrängtransportkostnader
- Kostnader vid avlägg
- Kostnader vid terminal/värmeverk

Inom varje kostnadsområde kan man välja bland ett antal olika maskiner. I en maskinkalkyl presenteras prestation och kostnad för repektive maskin och användaren kan själv granska och eventuellt ändra ingångsvärdena.

I FoU-arbetet har FLIS varit till stor nytta men det har även använts av flera stora skogsbränsleproducenter för analyser av de egna systemen och för att hitta förbättringsområden.

**Fortsatt FoU-behov**

Kalkyler och funktionalitet i FLIS har utvecklats i flera steg. För närvarande utvidgas det till att också omfatta järnvägstransporter. Nästa steg blir att förbättra användarvänligheten. FLIS utvecklades under en period när skogsbränslehanteringen fortfarande var i sin linda. Under de senaste fem åren har utbudet av maskiner ökat mycket, vilket lett till att FLIS börjar bli något svåröverskådligt.

# BRÄNSLEUTTAGETS LÅNGSIKTIGA EKONOMI

## – BERÄKNINGSVERKTYG FÖR SKOGSÄGARE

Staffan Jacobson, Skogforsk

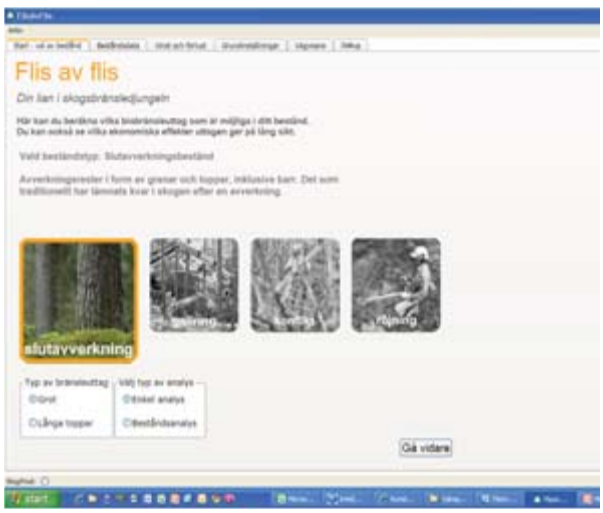
Skogsägare bör ta hänsyn till de långsiktiga effekterna då de överväger uttag av skogsbränsle. Mest påtaglig är risken för tillväxtförluster. Som ett hjälpmedel har Skogforsk utvecklat ett användarvänligt beräkningsverktyg som stödjer skogsägaren vid bedömning och ekonomisk utvärdering av de kort- och långsiktiga effekterna av skogsbränsleuttag. Beräkningarna kan hjälpa till vid beslut om uttag och eventuella kompensationsåtgärder. Verktyget kommer att finnas tillgängligt på Skogforsks hemsida.

**Uttag av större mängder** gröndelar och finkvistar (grot, okvistade träddelar) leder till tillväxtförluster. Detta gäller vid uttag i såväl röjning, gallring som efter slutavverkning. Förluster i storleksordningen 5-15 procent under en 10-20 års period är rimliga att anta för de flesta bestånd i Sverige. Uttag av grot efter slutavverkning har även positiva effekter som underlättar etableringen av ny skog, framförallt i form av en bättre och billigare markberedning men även en något billigare plantering. Dessa positiva effekter måste också vävas in i den ekonomiska kalkylen. Vid uttag av klena träd i samband med röjning och röjningsgallring i konfliktbestånd uppkommer även en del andra effekter, t.ex. tidigt utläggande av stickvägar, som indirekt påverkar beståndets utveckling och totalproduktion.

För att ge stöd till skogsägare som står inför valet att leverera skogsbränsle har ett ekonomiskt kalkylverktyg utvecklats. Ekonomiska konsekvenser av tillväxtnedsättningar kontra förenklad beståndsanläggning orsakade av skogsbränsleuttag hanteras på beståndsnivå. Analyserna visar vilka intäkter som krävs av skogsbränsleuttaget för att balansera framtida tillväxtförluster och vad eventuella kompensationsåtgärder får kosta. Verktyget ger också skattningar av uttagets storlek i form av MWh, m³s och ton TS per hektar.

Eftersom frågorna är komplexa och förutsättningarna mycket varierande måste ett verktyg av detta slag bygga på att förutsättningar och antaganden kan varieras av användaren. För att göra verktyget överskådligt och lättanvänt guidas användaren med hjälp av informativa texter och länkade bakgrundsdokument. Verktyget kan därför även användas som pedagogiskt hjälpmedel i utbildningssammanhang.

Beräkningsverktyget kommer att kunna laddas ner gratis på Skogforsks hemsida och på Kunskap Direkt. Det senare är ett internetbaserat rådgivningsverktyg om skogsbruk som produceras av Skogforsk i nära samarbete med Skogsstyrelsen och LRF Skogsägarna.




**Fortsatt FoU-behov**
Verktyget kommer att kontinuerligt uppdateras i takt med att ny kunskap blir tillgänglig.

FOTO: BO GÖRAN BACKSTRÖM/SKOGSMUSEET

# ChipOpt – FLÖDESOPTIMERING AV SKOGBRÄNSLEN

Mikael Frisk, Skogforsk

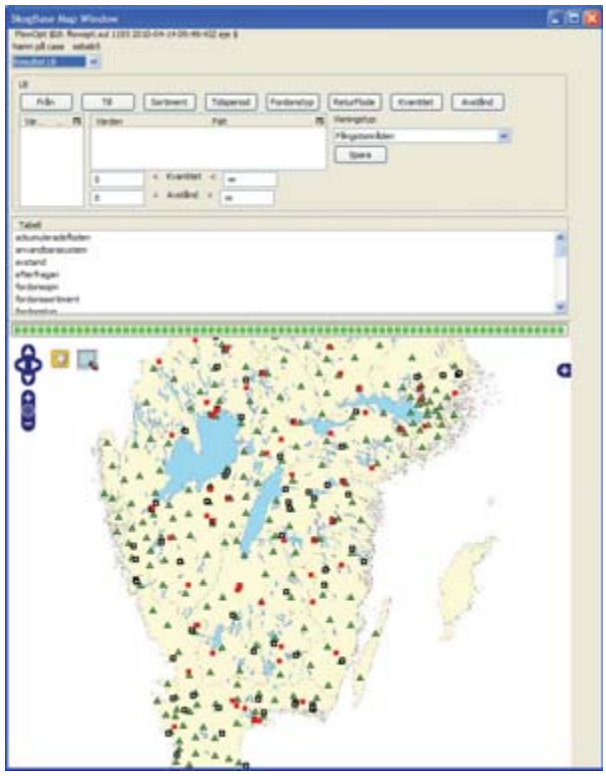
Logistiken är kritisk för produktion av skogsbränsle. Skogforsks datorbaserade verktyg för analys av rundvirkesflöden, FlowOpt, har i projektet ChipOpt anpassats för skogsbränslelogistik. Mycket av utvecklingsarbetet har skett i samband med en studie hos Sveaskog, där syftet var att utvärdera den optimala lokaliseringen av terminaler för skogsbränsle samt sönderdelnings- och transportsätt. Några intressanta resultat från studien var att medeltransportavstånden blev korta och att flera av de 15 terminaler som ingick i studien inte alls används i den optimala lösningen. Man kunde också se att vissa mottagare av skogsbränsle var betydligt mer lönsamma än andra.

**Skogforsk har under flera år** utvecklat och arbetat med FlowOpt, vilket är ett verktyg för analys av virkesflöden. Det har använts i ett tjugotal utredningar med uppgift att analysera optimala fångstområden, returpotentialer, virkesbyten och kostnadseffektiva tåg- och terminalsystem. I projektet ChipOpt har verktyget nu utvecklats så att det kan användas för att räkna på hantering av olika skogsbränslesortiment och som beslutsstöd för val av teknik för sönderdelning. FlowOpt har samtidigt förändrats från ren logistikoptimering till mer av affärsoptimering. Både inköps- och försäljningspris ingår i optimeringen, som maximerar täckningsbidraget (intäkter minus kostnader). Därför går det att räkna på lönsamheten för leveranser till olika kunder.

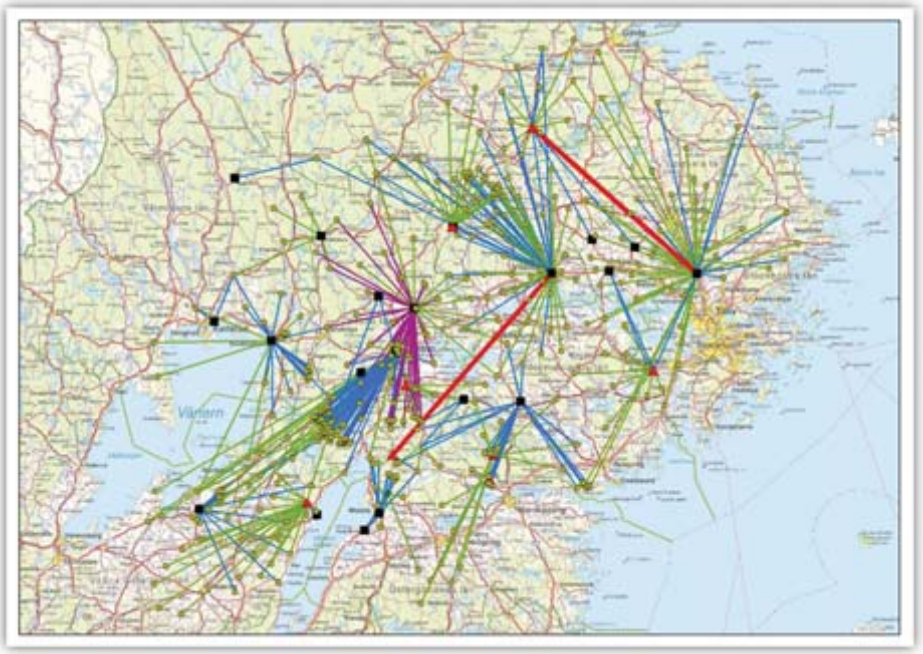
Modellen ger exempelvis beslutsunderlag för att besvara frågor som: Vilken teknik för sönderdelning är bäst för groten på det här hygget? Vilket värmeverk ska ha vilket skogsbränsle?

Förutom en ny optimeringsmodell som är betydligt mer omfattande än den ursprungliga FlowOpt-modellen, har också ett nytt gränssnitt utvecklats. Det bygger på lättillgängliga program med öppen källkod för databashantering och karthantering. Genom att ta hänsyn till att tillgång och efterfrågan varierar över året samt begränsningar i produktions- och transportkapacitet kan FlowOpt beräkna och optimera behovet av lagring, exempelvis inför vintermånaderna.

Intresset för FlowOpt är stort. Förutom studien hos Sveaskog, vilken presenteras nedan, har verktyget under 2010 använts i ytterligare en studie som gjordes tillsammans med Stora Enso Bioenergi AB. Syftet var att optimera lokalisering och användning av terminaler, bestämma vilka transportslag och sönderdelningssystem som är mest lönsamma och hur kundstrukturen bör se ut.



I det nya gränssnittet för FlowOpt finns en kartdel, som här visar terminaler (röda fyrkanter), mottagare (öppna svarta fyrkanter) och kommuners mittpunkt (gröna trianglar). I den övre delen finns menyer för att välja vilka flöden som ska visas i kartan.



Exempel från optimeringsstudien av skogsbränsleflöden hos Sveaskog. I kartan representerar varje streck en leverans till kund, olika färger representerar olika skogsbränslesortiment.

**Optimeringsstudie av skogsbränsleflöden**

I en studie hos Sveaskog 2008 genomfördes mycket av utvecklingsarbetet i projektet ChipOpt, d.v.s. att anpassa FlowOpt till att även omfatta skogsbränslesortimenten. Syftet med studien var att utvärdera lokalisering av terminaler för lagring och sönderdelning av skogsbränsle, terminaler för omlastning till tåg, bästa destinering (mottagare), sönderdelnings- och transportsätt. Indata till studien utgjordes av 2007 års skogsbränsleflöden och omfattade:

- 650 GWh grot, bränsleved (rundved) och träddelar fördelat på 400 platser i Mellansverige. För varje sortiment angavs en inköpskostnad per MWh oavsett om volymen kom från egen skog eller från privata skogsägare.
- Flera olika system för sönderdelning och transport: Traktorhugg, lastbilshugg, kross och grotbuntare samt rundvirkesbil, grotbil, flisbil och tåg. För varje maskin- och transportslag fanns uppgifter om prestation, årskapacitet samt kostnad.
- 21 mottagare, främst värmeverk. För varje mottagare fanns uppgifter om kontrakterad volym och det pris de betalade för olika sortiment.
- 15 terminaler, både befintliga och ännu ej etablerade. Terminalerna användes för sönderdelning och lagring och/eller omlastning från lastbil till tåg.

Medeltransportavstånden blev korta och flera av de 15 terminalerna användes inte alls i den optimala lösningen. Man kunde också se att vissa mottagare var betydligt mer lönsamma än andra. Några visade sig till och med vara olönsamma när man summerade kostnaden för inköp, sönderdelning och transport och sedan jämförde med vad kunden betalar. Det här kan bero på att man varit bunden av ingångna avtal och/eller att alla förutsättningar inte beaktats vid optimeringen. Årstidsvariationen av efterfrågan är exempelvis inte inkluderad.

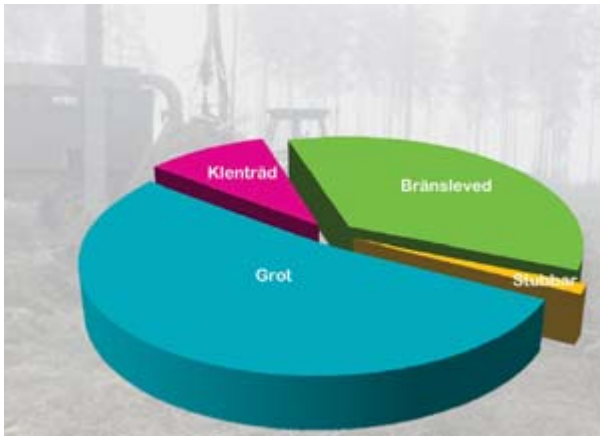
**Fortsatt FoU-behov**

FlowOpt har hitintills använts som ett forskningsverktyg eller använts av forskare för att på uppdragsbasis hjälpa Skogforsks intressentföretag med olika analyser. Ett implementeringsprojekt kommer att startas upp under 2010, där syftet är att installera FlowOpt på ett intressentföretag (Södra Skogsägarna) så att företaget på egen hand kan använda verktyget. Stora insatser kommer då att läggas på att förfina gränssnitt och förenkla användningen för de företag som är intresserade att implementera FlowOpt.

# SKOGSBRÄNSLEENKÄT

Torbjörn Brunberg, Skogforsk

Statistiken över kostnader, metodandelar, system och sortiment för skogsbränslen har länge varit bristfällig. En enkät rörande skogsbrukets teknikanvändning och kostnader för tillvaratagande och transport av skogsbränsle håller nu på att sammanställas. Preliminära resultat visar för 2009 en genomsnittlig kostnad på 170 kr per m³s fritt slutkund för produktion och transport av skogsbränsle. Grot och bränsleved är de stora sortimenten. Av groten flisades mer än 80 procent på avlägg vid skogsbilväg innan det transporterades till kund.



**Skogsbränsle är ett sortiment** som växer volymmässigt och får allt större betydelse för skogsbruket. Med det följer större krav på att verksamheten bedrivs effektivt och ständigt utvecklas. En grund för förbättringsarbetet är att ha kunskap om volymsförändringar och hur teknik och metoder samt kostnader och intäkter utvecklas. Inom det enskilda företaget har man normalt ett bra grepp om detta medan det ofta saknas jämförbara uppgifter på regional eller landsomfattande nivå, vilket skulle behövas för den långsiktiga planeringen och för benchmarking mellan företagen.

För att möta detta behov av övergripande statistik har vi via en enkät samlat in uppgifter från olika skogsföretag i landet. Förebild har varit den drivnings- och skogsvårdsenkät som Skogforsk under flera decennier regelbundet samlat in, sammanställt och presenterat översiktligt i sin publikationsserie ”Resultat”.

Skogsbränsleenkäten innehåller frågor om:

- Teknik och metoder för skörd, terrängtransport, sönderdelning och vidaretransport.
- Kostnader för skörd, terrängtransport, sönderdelning och vidaretransport.
- Kostnader för grot, träddelar, stubbar och bränsleved.

Enkäten har sänts ut till alla större producenter av skogsbränsle i Sverige. Innan enkäten sändes ut har frågorna och detaljeringsgraden i enkäten diskuterats med dessa. Enkäten

skickades ut under första kvartalet 2010 och frågorna avsåg förhållandena under 2009. Svarsfrekvensen har varit relativt god och omfattar ca 13 milj. m³s skogsbränsle.

Svaren är ännu inte helt bearbetade men preliminära resultat visar att av dessa ca 13 milj. m³s skogsbränsle utgjordes drygt 50 procent av grot, knappt 40 procent av bränsleved och 10 procent av klena träd från röjningar och gallringar. Stubbar svarade för endast 1 procent. Terrängtransportavstånden var i medeltal ca 350 m. Skillnaden i transportavstånd mellan de olika skogsbränslesortimenten var marginell.

Av grot, det största skogsbränslesortimentet, flisades mer än 80 procent innan vidaretransport till kund. Uttag av helgrot svarade för ca 15 procent av volymen och buntning på hygget för 5 procent. Sönderdelningen av grot skedde huvudsakligen genom flisning, ca 90 procent, medan krossning tillämpades på 10 procent av volymen. Den genomsnittliga kostnaden i Sverige för produktion och transport av skogsbränsle under 2009 var fritt slutkund ca 170 kr per m³s.

**Fortsatt FoU-behov**

Enkäten kring skogsbränsle är tänkt att bli ett årligt återkommande projekt, där resultaten presenteras i Skogforsks publikationsserie Resultat.

# KUNSKAP DIREKT OM SKOGSBRÄNSLE

Mats Hannerz, Silvinformation AB

Skogforsks rådgivningsportal Kunskap Direkt utökades i december 2009 med ett omfattande avsnitt om skogsbränsle. I det kan skogsägare, entreprenörer, köpare och användare av skogsbränsle hitta både enkla tumregler och fördjupade kunskaper om uttag av energi från skogen. Webbtjänsten innehåller också beräkningsverktyg och filmer om skogsbränsle.

**Kunskap Direkt Skogsbränsle** ska vara ett stöd för alla som planerar att göra ett skogsbränsleuttag. Den ger svar på frågor som: Hur mycket energi finns i beståndet? Hur planerar jag för bränsleuttaget? Hur påverkas miljön? Vad kostar det att skörda grot, stubbar eller klena träd?

Den ger däremot **inte** svar på hur mycket betalt en skogsägare får för skogsbränslet. Prissättningen är en fråga för säljare och köpare, och varierar stort beroende på avsättningsläge och övriga förutsättningar.

Produktionen av Kunskap Direkt Skogsbränsle har finansierats av Formas och innehållet sammanställts av forskare i ESS-programmet från aktuella rapporter om skogsbränsle. Den omfattar ca 120 sidor. Tyngdpunkten ligger på praktiska frågor kring uttag av grot, men behandlar också stubbar och klena träd. Även mer generella aspekter tas upp, såsom miljöåtgärder och Sveriges energiförsörjning i stort.

Under rubriken ”Räkna med skogsbränsle” finns beslutsstöd och räkneverktyg för att skatta energiinnehållet för olika sortiment, mängden skogsbränsle i ett bestånd samt kostnader för uttag av skogsbränsle. I sex korta filmer från Skogsstyrelsen får användaren en snabb introduktion om grotuttag och askåterföring.

**Fakta om Kunskap Direkt**

Kunskap Direkt är en rådgivningsportal om skogsskötsel och naturvårdshänsyn, producerad av Skogforsk i samarbete med LRF Skogsägarna och Skogsstyrelsen. Den första delen handlar om lövskogsskötsel och lanserades redan 1999. Sedan dess har portalen byggts ut till över 1700 webbsidor, med 45 avancerade beräkningsverktyg och ca 40 instruktionsfilmer. Användarna kan också göra kunskapstester och öva skogsskötsel med interaktiva exempel. Idag spänner portalen över hela fältet inom skogsskötsel och naturvårdshänsyn, inkl. vatten och kulturmiljövård. Dessutom finns avsnitt om skogsbilvägar.

Kunskap Direkt är gratis att använda och nås via Skogforsks hemsida eller genom direktadressen www.kunskapdirekt.se. Den primära målgruppen är skogsägare och deras rådgivare. För Kunskap Direkt Skogsbränsle är också entreprenörer och köpare av skogsbränsle viktiga målgrupper.

KUNSKAP DIREKT
Kunskap Direkt
om skogsbränsle
Filmer om skogsbränsle

# MÄTNING AV BRÄNSLEVED

Frans Larsson & Mats Nylinder, SLU

Vanlig rundved som används som bränsle, s.k. bränsleved, är volymmässigt en mycket viktig del av skogbränslefångsten idag. För att korrekt värdera ett skogsbränslesortiment krävs ett mått på materialets energiinnehåll, t.ex. genom mätning av torrhalten. Idag finns inte några tillförlitliga och enkla metoder att göra detta på obearbetade sortiment utan för bränsleved används samma inmätningsmetod som för massaved. Studier för att se om det är möjligt att utveckla förenklade mätmetoder har därför inletts.

Torrhalten bestäms bland annat genom stickprovstagning från det flisade materialet.

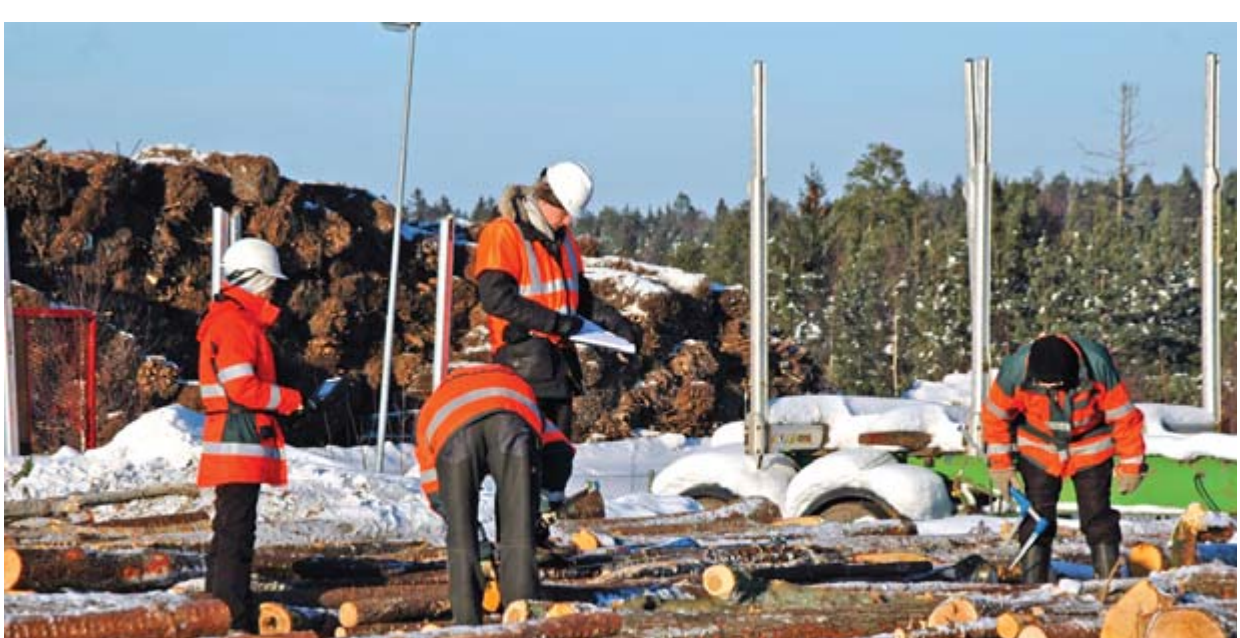
**Den prisgrundande inmätningen** av skogsbränsle i form av rundved sker idag genom en beräkning av fastvolymen, samma metod som används för massaved. Inmätningen görs av virkesmätningsföreningen genom en kvalificerad bedömning och med stöd av en hjälptabell. För massavedsortiment vet vi att bedömningen har relativt god noggrannhet då hjälptabellen är utformad för detta sortiment. Massaved och bränsleved skiljer sig dock ofta markant från varandra. I bränsleved förekommer en hel del udda trädslag, virket är krokigare och har ofta större diameterspridning än massaveden.

En för värmeverken viktig egenskap som idag inte mäts för obearbetad bränsleved är torrhalten. Detta beror på att det inte finns någon etablerad metod för att mäta torrhalten i obearbetade sortiment. När sortimentet är sönderdelat (flisat eller krossat) är det relativt enkelt att ta ett stickprov från bränslet, som vägs både innan och efter torkning för att fastställa torrhalten.

För bränsleråvara, som ännu ej sönderdelats, är mätning och provtagning svårare. Bränsleved är ett exempel. Det är det näst största skogsbränslesortimentet för närvarande men inmätningen behöver utvecklas. För att undersöka möjligheterna till det ska följande frågeställningar belysas:

- Hur väl kan virkesmätarna uppskatta volymen av travad bränsleved när den har ett annat utseende än traditionell massaved (udda trädslag, krokigare, större diameterspridning)?
- Kan travbedömningen vidareutvecklas?
- Hur skall barkandelen hanteras vid mätning av bränsleved?
- Kan någon enkel metod utvecklas för en tillförlitlig torrhaltsprovtagning av obearbetade skogsbränslesortiment?

En fältstudie med fyra upprepningar genomförs tillsammans med VMF Qbera och Fortum. Totalt omfattar studien 20 travar med bränsleved. Varje trave volymbedöms av virkesmätarna och kontrollmäts därefter av VMF Qbera.



Kontrollmätning av en bränslevedtrave.

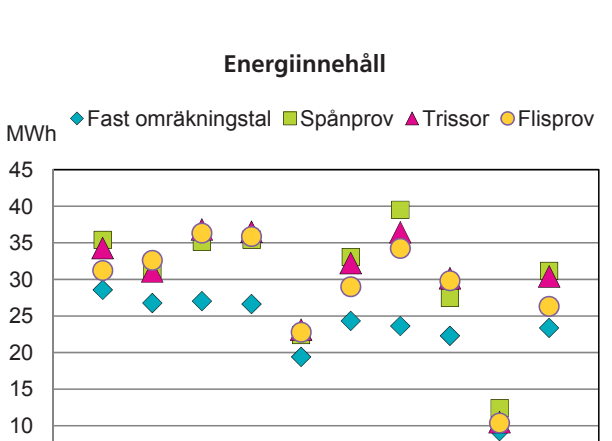
Därefter tas torrhaltsprover med tre olika metoder:

- Sågspån från motorsåg.
- Trissor från stockar i traven.
- Stickprov av flis då traven flisats.

I samband med flisning vägs traven och den flisade volym bestäms. Studien beräknas vara slutförd hösten 2010.

Preliminära resultat visar att då mallen för fastvolymbedömning används på ett korrekt sätt skattas volymen väl. Genomsnittsavvikelsen är -0,7 procentenheter med en standardavvikelse på 3,36. Men i figuren visas att existerande omräkningstal lämpar sig mindre väl för omföring från volym- till energienheter.

**Energiinnehåll**




Resultat från de tio först mätta travarna. I figuren jämförs energiinnehållet (MWh) enligt fast omräkningstal med beräkningar baserade på de testade metoderna för torrhaltbestämning. Att utnyttja SDC's fasta omräkningstal från m³fub till ton TS för sortimentet bränsleved ledde till en underskattning av energiinnehållet med 21 procent.

**Mätning av torrhalt med dubbelenergiröntgen**

Vid värdering av bränsleflis och processtyrning vid förbränning är korrekt mätning av fukthalt av största vikt. Därför efterfrågas en rationell metod för att snabbt bestämma fukthalten både för enskilda prov och vid kontinuerlig mätning, t ex vid inmatning av flis till panna. Företaget Mantex har utvecklat en mätteknik baserad på en variant av röntgen. Metoden fungerar väl vid fukthaltsmätning av sågverksflis. Med start under våren 2010 testas fukthaltsmätning av grotflis.

**Fortsatt FoU-behov**

Verksamheten kring skogsbränsle utvecklas snabbt. Det kommer att skärpa kraven på korrekta volyms- och kvalitetsbestämningar av sortimenten. Ett uttryck för det är att skogsbränsle kommer att omfattas av virkesmätningslagen. Därför krävs:

- Grundläggande utveckling av mätteknik för såväl bearbetade som obearbetade bränslesortiment.
- Implementering av nya mätrutiner och rapportsystem inom skogsbränsleområdet.
- Informations- och utbildningsinsatser för att sprida kunskap om dessa och hur de ska användas.

# NYA SORTIMENT OCH OMRÄKNINGSTAL BEHÖVS FÖR SKOGSBRÄNSLE

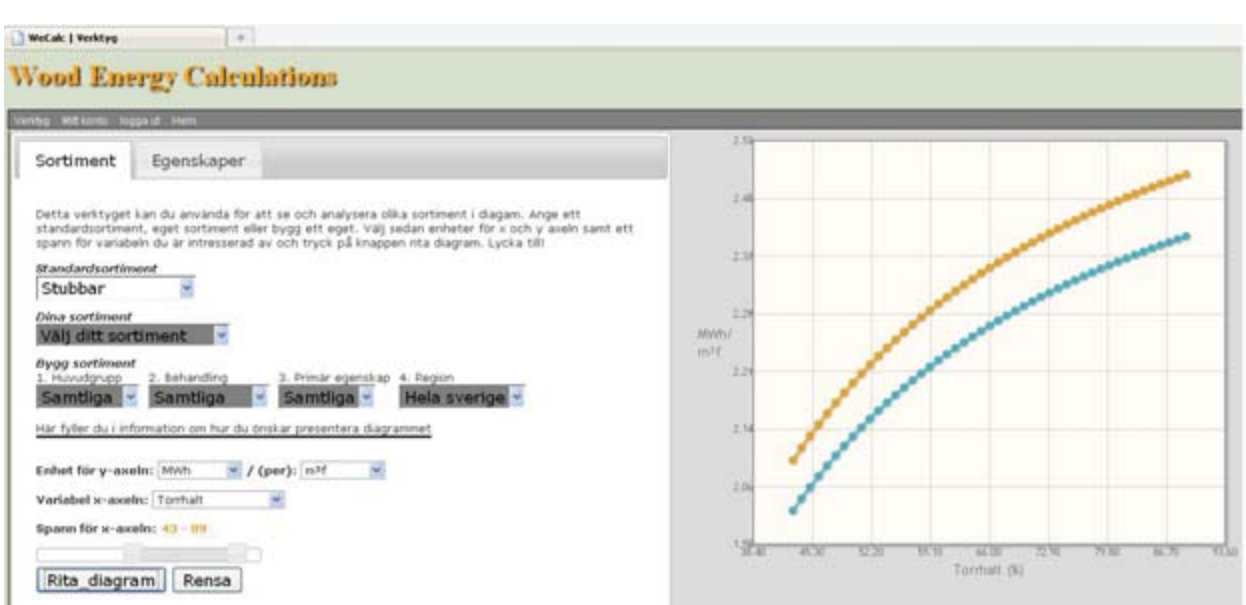
Frans Larsson, SLU

Skogsbränsle mäts och värderas i olika enheter på sin väg från skog till bränslekund. På värmeverken är det MWh som gäller, åkarna talar om ton och säljarna i skogsbruket främst om volymer, såsom m³fub eller m³s. De olika begreppen skapar lätt missförstånd. För att undvika feltolkningar och för ett fungerande handelssystem är det viktigt med tillförlitliga omräkningstal mellan enheterna. I samarbete med berörda aktörer utarbetas nu ett webbverktyg för omräkningstal. Målet är att på sikt etablera en gemensam standard för dessa frågor.

**En kraftigt växande marknad** gör att skogsbränsle nu tagit plats som ett skogssortiment i klass med massaved och sågtimmer. Därmed har även behovet av korrekta omräkningstal mellan olika enheter, exempelvis ton och megawattimmar ökat. Omräkningstal behövs vid transaktionerna mellan säljare och köpare i försörjningskedjan, för uppföljning, för planering samt av redovisningstekniska skäl såsom lagervärdering. Skogsbränslen har olika ursprung och skiftar i form, vilket gör att de har vitt skilda egenskaper, t.ex. när det gäller askhalt eller densitet, som aktörerna kan vilja framhäva. Det är samtidigt av stor vikt att varje aktör kan använda enheter som har relevans och känns bekväma för dem.

Tillsammans gör detta att det finns behov av att kritiskt granska den indelning som idag används för de olika skogsbränslesortimenten. I samarbete med branschföreträdare inom virkesmätning och -redovisning samt köpare och säljare på marknaden utarbetas nu ett webbverktyg för omräkningstal.

Omräkningstalen för de olika skogsbränslesortimenten styrs av en rad virkes- och bränsleegenskaper, vilka är beroende av var trädet växt, trädslaget eller trädslagsblandningen, de delar från trädet som ingår, när sortimentet har avverkats, hur det har lagrats med mera. De statiska omräkningstal som tillämpas idag ger därför inte korrekta värden för varje enskilt parti, utan speglar ett genomsnittligt tillstånd för varje




WECalc ger möjligheter till grafisk presentation och analys av hur olika egenskaper påverkar omräkningstalen. WECalc är tillgängligt på nätet för testning och har snabbt blivit uppskattat och välanvänt: http://biofuelcalc.sites.djangoeurope.com/

sortiment. För att täcka in marknadens behov måste därför ett bränslesortiment specificeras noggrannare än vad det statiska omräkningstalet anger, exempelvis genom införandet av trädslags- och egenskapskoder. Omräkningstalen ajourhålls av virkesmätningsföreningarna och används av skogsnäringens datacentral, SDC, i ett virkeshanteringssystem som automatiskt tillämpar omräkningstalen på inmätt sortiment.

Arbetet med att ta fram tillförlitligare omräkningstal inleddes med en sammanställning av kunskapen inom området, främst genom litteraturstudier. En ny modell för att praktiskt arbeta med skogsbränslesortimentens omräkningstal har utarbetats. Modellen innebär att man utgår från nio stycken, identifierbara standardsortiment som vid behov kan modifieras genom de egenskaper som styr omräkningstalen. Detta innebär att trädslags- och egenskapskoder kan specificeras och fortlöpande förfinas av parterna själva.

Detta tankesätt ligger även till grund för webbverktyget WECalc, som gör det enkelt att anpassa omräkningstalen till aktuella virkes- och bränsleegenskaper. Förutom att förse branschen med förbättrade omräkningstal, kan verktyget bidra till att skapa förståelse och enighet om hur de olika enheterna förhåller sig till varandra och hur de ska beräknas, vilket är en förutsättning för en branschgemensam standard på området. På sikt kan data genererade genom WECalc användas i avtalssammanhang och integreras i företagens och SDCs virkesredovisningssystem.

För att säkerställa kvalitet och relevans drivs projektet i samverkan med en biobränslekommitté utsedd av virkesmätningsföreningarna. Projektet har hittills resulterat i en uppdatering av VMFs och SDCs statiska omräkningstal samt skapande av nya för sortiment där det tidigare saknats.

**Fortsatt FoU-behov**

Kunskaperna om virkesegenskaperna hos skogsbränslesortimenten måste förbättras genom grundforskningsinsatser.

Webbverktyget tillåter att ytterligare verktyg kan läggas till, såsom exempelvis:

- Geografiskt optimeringsstöd för skogsbränslesortiment.
- Kostnadskalkyler för förädlingskedjor.
- Modeller för hur hanteringen påverkar skogsbränslets egenskaper.

# FLERTRÄDSMÄTNING MED SKÖRDARE

John Arlinger, Skogforsk

Täta och klena gallringsskogar innehåller stora mängder lämplig bränsleråvara, men avverkningen är kostsam. Uttaget kan effektiviseras genom ökad tillämpning av flerträdshantering. Men denna utveckling bromsas av att vi saknar en tillförlitlig metod för volymbestämning av trädstammar i buntar. Detta medför osäkerhet vid beräkning av entreprenörernas ersättning och skogslagrets storlek. Baserat på verkliga data från skördare anpassade för flerträdshantering utvecklas nu en för skogsbruket gemensam metodik för volymbestämning av flerträdshanterade sortiment.

**I projektet utvecklas en** gemensam metod för volymbestämning av träd som efter avskiljning ackumuleras i skördaraggregatet för efterföljande bunthantering samt en standard för registrering av flerträdshanterade sortiment. Den viktigaste förväntade effekten är ett ökat uttag av volymer i klena gallringar, vilka främst kommer att falla ut som skogsbränsle.

Den nya metodiken tillsammans med den uppdaterade standarden ska generera data som kan bidra till effektivare planering och lageruppföljning samt för beräkning av ersättning till maskinlag och entreprenörer.

Målsättningen är att:

- Utvärdera de olika metoder för stam- och volymsberäkning som maskintillverkarna infört på sina skördare.
- Utveckla en gemensam metodik för bestämning av antal avverkade stammar, volym totalt och volym per sortiment vid flerträdshantering.
- Anpassa och utveckla StanForD (standard för datakommunikation med skogsmaskiner) för flerträdshanterade volymer.
- Testa den nya metodiken tillsammans med 2-3 intressentföretag och några maskintillverkare.
- Bistå maskin- och mjukvarutillverkarna vid implementering av den utvecklade metodiken.
- Testa den anpassade standarden genom att skicka produktionsfiler med flerträdshanterade data till skogsföretagens respektive SDCs system.

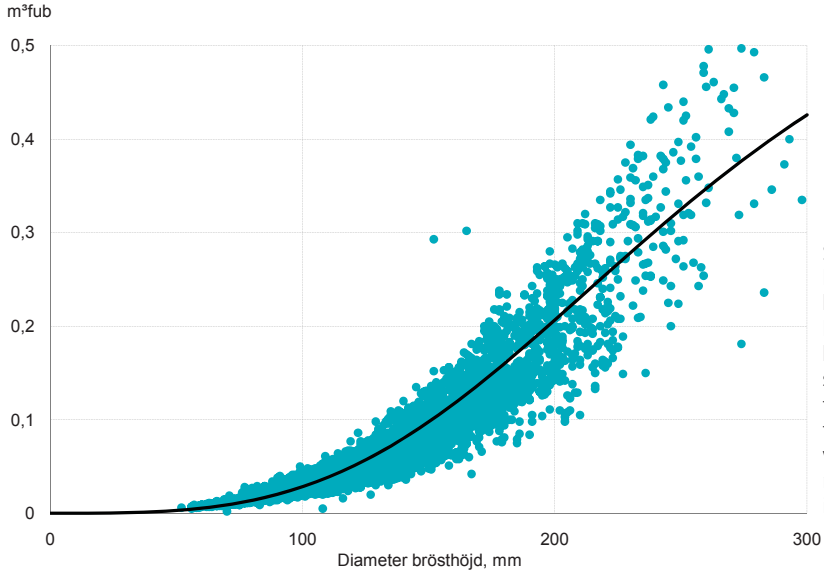
En första version av mjukvara har utvecklats. Med den kan avverkade volymer från flerträdshanterade stammar beräknas med hjälp av de data som fortlöpande registreras av skördaren. Metoden bygger på att sambandet mellan brösthöjdsdiameter och volym för enskilda träd är känt (se diagram nedan). För samtliga stammar, både enkel- och flerträdshanterade, registreras brösthöjdsdiametern men vid flerträdshantering mäts diametern enbart på den första stammen som avskiljs. De övriga stammarna i bunten får samma diameter som den första och enbart antalet registreras. Sambandet mellan brösthöjdsdiameter och stamvolym utnyttjas för att beräkna och tilldela alla stammarna i bunten samma volym.

Den teoretiska risk som finns för ett systematiskt fel om skördarföraren konsekvent väljer att alltid ta det grövsta

(eller klenaste) trädet är försumbar. Det har visat sig att föraren i praktiken inte har tid att välja ut stammar på detta vis, eftersom det allt för mycket skulle påverka produktionstakten i negativ riktning. Denna risk kommer dock ändå att undersökas närmare.

För att testa metoden genomfördes en pilotstudie omfattande 24 avverkade trädbuntar med totalt 58 enskilda stammar. Avverkningen utfördes med en John Deere 1270 skördare. Buntarna kontrollmättes manuellt med dataklave. Detta "facit" jämfördes sedan med de data som mätts in av maskinen och analyserats med den nya mjukvaran.

Resultaten är lovande. Den tänkta beräkningsmetodiken verkar ha god precision och hög noggrannhet. I genomsnitt var skillnaden mindre än 1 procent mellan den volym som beräknades enligt metoden och den manuellt inmätta volymen. Även skillnaden mellan maskin- och kontrollmätt diameter var mycket liten, mindre än 1 mm. Maskinens registrering av antalet stammar och trädslag var korrekt.



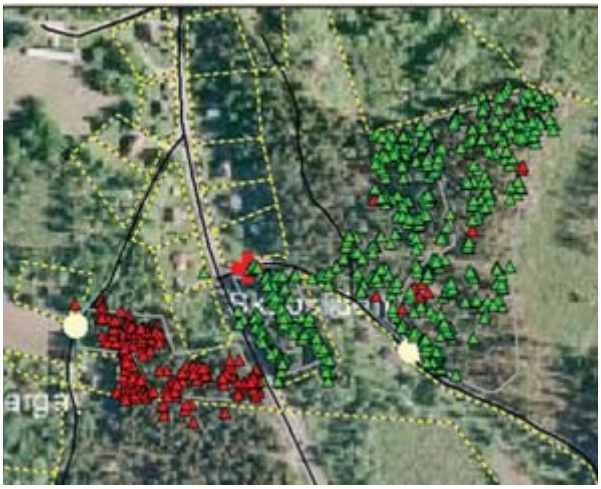

Sambandet mellan diametern i brösthöjd och volymen för enskilda stammar beskrivs av den heldragna regressionskurvan. Sambandet används för att beräkna volymen för flerträdshanterade stammar. Om t.ex. den första av flera flerträdshanterade stammar har diametern 10 cm i brösthöjd, motsvarar det en volym på ca 0,025 m³fub. Denna volym multipliceras sedan med antalet stammar i bunten.

**Fortsatt FoU-behov**
Metoden kommer att testas på flera olika skördare av olika fabrikat runt om i Sverige för att få ett större material att arbeta vidare med.

# SKÖRDARRAPPORTERING AV GROT OCH STUBBAR

Johan Möller, Björn Hannrup, William Larsson, John Arlinger,
Andreas Barth & Lars Wilhelmsson, Skogforsk

Information över mängden skogsbränsle från avverkningsobjekt sker i praktiken genom subjektiva bedömningar och erfarenhetstal. Skogforsk har, med stöd av skogsföretag, SDC, kraftbolag och skogsmaskintillverkare, utvecklat ett system för att beräkna och på kartor visa tillgängliga kvantiteter skogsbränsle. Indata är skördarnas mätdata för enskilda träd. Med hjälp av biomassafunktioner görs trädvisa beräkningar av mängden skogsbränsle och en lägesbestämning med GPS. Utvärderingarna visar god överensstämmelse mellan verkliga och beräknade kvantiteter.



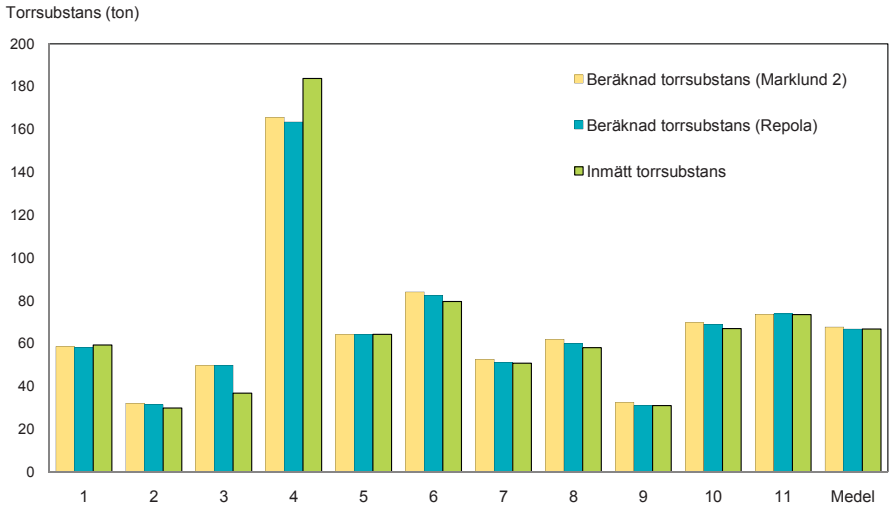
Karta genererad med beräkningssystemet som visar grotanpassade (gröna trianglar) respektive icke grotanpassade områden (röda trianglar).

**Tillgång till detaljerad information** över mängden skogsbränsle från avverkningsobjekt har ett stort värde för produktions-, lager- och flödesplaneringen. Det har dock saknats standardiserade system för producerade kvantiteter skogsbränsle i samband med avverkning. Sådan information har tidigare baserats på subjektiva bedömningar och erfarenhetstal. Skogforsk har nu utvecklat ett system för beräkningar av mängden skogsbränsle uppdelat på grenar, toppar, barr och ev. stamved och stubbar.

I systemet kommer indata från skördarnas datorer som lagrar information om enskilda träd. Med hjälp av trädvisa biomassafunktioner görs beräkningar av mängden skogsbränsle. Systemet innehåller även två komponenter för att särskilja uttagbart skogsbränsle från det som lämnas kvar på avverkningsobjekten:

- En funktion möjliggör särredovisning av grot som inte tas ut som skogsbränsle, t.ex. av miljöskäl eller för att groten används för att förstärka basvägar och körstråk.
- En funktion för prognos av hur stor andel av den grot som skördarföraren lagt upp i högar som också skotas fram till välta.

Praktiska utvärderingar av systemet visar att det fungerar bra och att det inte innebär någon ökad belastning på skördarförarna under avverkningsarbetet. Under utvärderingen testades även olika befintliga biomassafunktioner för att beräkna grot- och stubbvolymer. Skördardata samlades in från 38 provytor, utlagda på ordinarie slutavverkningsobjekt inom sju olika områden i landet, från Småland till Norrbotten. På provytorna togs all grot tillvara och mängden torrsubstans bestämdes genom vägning och fukthaltsmätning vid värmeverk eller terminal. Den teoretisk beräknade mängden enligt två av de vanligast använda biomassafunktionerna (Marklunds och Repolas) överrensstämde efter en mindre justering (regional nivåläggning) väl med inmätta mängder.




Jämförelse av beräknad mängd skogsbränsle enligt de två vanligaste biomassafunktionerna och den mängd som inmättes på elva olika avverkningsobjekt.

På övergripande nivå utvärderades systemet genom att all grot från 11 avverkningsobjekt mättes in vid värmeverk och jämfördes med beräknade värden. Resultaten visade på mycket god överrensstämmelse mellan inmätt mängd torrsubstans och den mängd som beräknades utifrån skördardata. Medeltalet för den inmätta mängden torrsubstans på de 11 objekten var 67 ton medan motsvarande beräknade mängder enligt respektive biomassafunktion var 68 och 67 ton. Utvärderingen visar att systemet bör kunna användas i praktisk drift utan risk för att några större systematiska avvikelser ska uppstå. I ett efterföljande projekt håller systemet för närvarande på att implementerats hos SDC och skogsföretagen SCA Skog AB och Stora Enso Skog. Beräkningshjälpmedlet är också en grund för att utveckla GROTSPORRE för skogsbränsle (se separat artikel).

**Fortsatt FoU-behov**

- Systemet för rapportering och hantering av skördarnas produktionsfiler (pri/ hpr) till skogsföretagen och SDC måste förbättras. Detta arbete pågår.
- Funktionen för trädvis registrering genom skördardatorerna om avverkningen grotanpassats eller ej måste implementeras på flera skördare. Under 2010 kommer programversioner från marknadens ledande tillverkare av skördardatorer att klara detta.
- Mjukvaran i grotskotarnas datorer ska anpassas så att den visar informationen om grothögarnas läge på en karta. Sådan mjukvara har redan testats i projektet med gott resultat.
- Om stubbskörd ökar i omfattning bör också stubbfunktionerna valideras i större praktiska test.

# GROTSPORRE GER BÄTTRE LÖNSAMHET

Petrus Jönsson, Karin Westlund, Patrik Flisberg och Mikael Rönnqvist, Skogforsk

Skotningsarbetet svarar för minst 20 procent av kostnaden för grot. Lönsamheten vid uttag av grot handlar därför till stor del om att kunna avgöra vilka delar av ett objekt som bör grotanpassas och vilka som bör lämnas p.g.a. allt för höga kostnader. GROTSPORRE är ett verktyg som i en kartpresentation ger förslag på optimala skotningsrutter och visar vid en given prisnivå vilka delar av objektet som är olönsamma att ta ut skogsbränsle från. När det finns flera avlägg visar den också till vilket avlägg bränslet ska skotas.

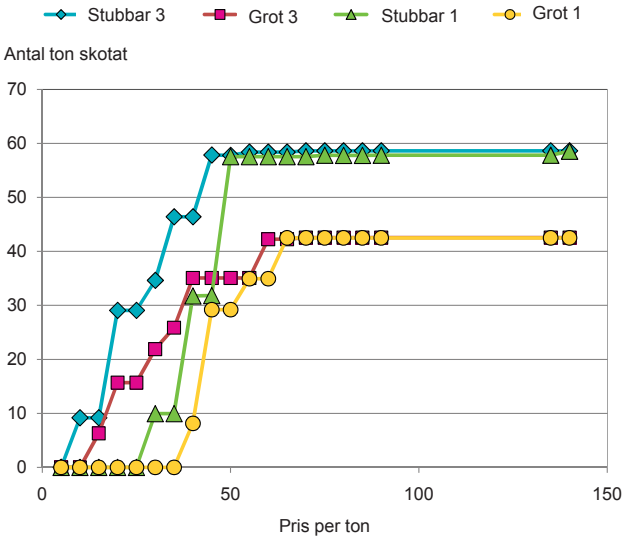
**SPORRE** (*SkotningsPlanering Och Rapportering i Realtid*) är ett hjälpmedel som utvecklats av Skogforsk för att optimera skotning av rundvirke. Ett liknande verktyg, GROTSPORRE, för tillvaratagande av skogsbränsle håller nu på att utvecklas. Det bygger på det system för skördarrapportering av skogsbränsle som utvecklats inom ramen för ESS-programmet (se separat artikel). Vid skördarrapportering lagras uppgifter om enskilda träd i skördarens dator. Detta utnyttjas i GROTSPORRE för att i kartbilder visa volymer och fördelning av groten på hygget. Verktyget kan även användas vid uttag av stubbved.

I GROTSPORRE optimeras uttaget vid ett givet pris (kr/ton) för skotningen. Genom att variera detta kan man även studera priskänsligheten, d.v.s. hur mycket mer grot (eller stubbar) som kan tas ut om priset höjs och hur stora volymer som faller bort om priset sänks. I figuren till höger visas priskänsligheten för grot och stubbar i intervallet 0-140 kr/ton. Vid prisnivån 40 kr/ton (stubbar) och 60 kr/ton (grot) kan i princip hela objektet skotas. Dessutom ser man effekterna av att använda ett eller flera avlägg. För att skota ut 20 ton grot är det på detta objekt en skillnad på c:a 10 kr vid ett eller tre avlägg.

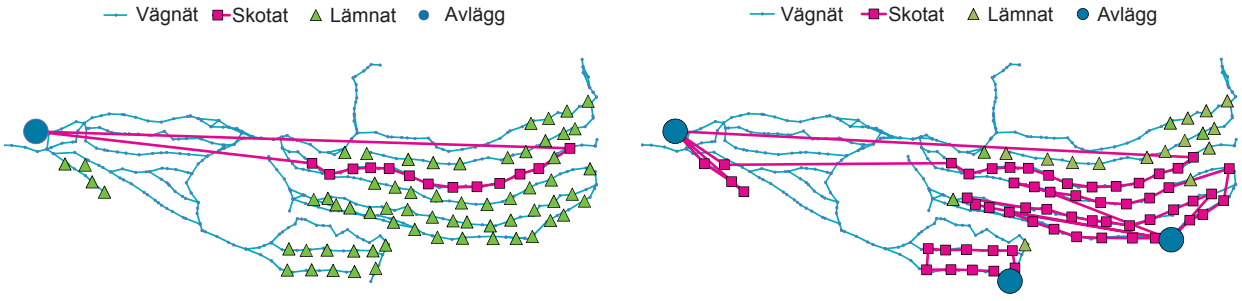
En fallstudie från Korsnäs AB illustrerar möjligheterna med det nya verktyget. Hygget där studien gjordes var 6 ha stort. På det fanns 40,5 ton grot och 58,6 ton stubbar. Tre möjliga avlägg kunde användas. Körstråken på hygget och lokaliseringen av skogsbränslet erhölls genom GPS-koordinater från skördaren.

Med GROTSPORRE är det möjligt att avgöra vilka delar av hygget som skogsbränsle ska tas ut ifrån och vilka körrutter som ska användas. I figurerna nedan illustreras vilka rutter som är optimala vid ett skotningspris på 35 kr/ton vid ett respektive tre avlägg i exempelbeståndet.

Då GROTSPORRE är färdigt att användas som praktiskt stöd ska det effektivaste körupplägget beräknas i förväg och presenteras grafiskt för avverkningslaget, tillsammans med traktdirektivet. Därvid kan olönsamma delar av hygget för grot- resp. stubbuttag identifieras och undantas.




Mängden (ton) stubbar och grot som det är lönsamt att skota vid olika prisnivåer. Två olika scenarier med ett respektive tre avlägg redovisas i figuren.




Figurerna ovan illustrerar vilka rutter som ska användas för att optimera uttaget av skogsbränsle vid ett skotningspris på 35 kr/ton. Den vänstra bilden gäller vid användning av ett avlägg och den högra när det finns tre avlägg.

**Fortsatt FoU-behov**

Fallstudien visar att det med hjälp av GROTSPORRE är fullt möjligt att beräkna optimala körrutter och vilka volymer skogsbränsle som är lönsamma att ta ut. För att beräkningsprogrammet ska kunna användas praktiskt krävs emellertid flera tester och sannolikt även en ökad detaljeringsgrad vad gäller ingående parametrar.

Den ökade detaljkunskap om bränsleråvarans priselasticitet som kan erhållas genom analyser med GROTSPORRE bör i framtiden kunna utnyttjas i samband med försörjningsplanering, beslut om ökad användning av skogsbränsle etc.

**Fullständig publicering från ESS-Programmet redovisas på**

**skogforsk.se\ess-rapport**

## KONTAKTA ESS-PROGRAMMET!

Rolf Björheden, programledare
rolf.bjorheden@skogforsk.se
018-18 85 09

Henrik von Hofsten, stubbar
henrik.vonhofsten@skogforsk.se
018-18 85 74

Lars Eliasson, grot
lars.eliasson@skogforsk.se
018-18 85 25

Johanna Enström,
transporteknik och terminaler
johanna.enstrom@skogforsk.se
018-18 85 02

Maria Iwarsson Wide, klenträd
maria.iwarssonwide@skogforsk.se
018-18 85 99

Tomas Johannesson,
tekniker, kursverksamhet
tomas.johannesson@skogforsk.se
018-18 85 38

## ÖVRIGA KONTAKTPERSONER

Raida Jirjis, SLU, raida.jirjis@et.slu.se
Erik Anerud, SLU, erik.anerud@et.slu.se
Tomas Nordfjell, SLU, tomas.nordfjell@srh.slu.se
Paul Granlund, LB-Teknik, paul.granlund@glbt.se
Dimitris Athanassiadis, SLU, dimitris.athanassiadis@srh.slu.se
Mats Nylinder, SLU, mats.nylinder@sprod.slu.se
Frans Larsson, SLU, frans.larsson@sprod.slu.se
Anders Tosterud, Tosterud Forest Consult, anders@tosterud.se