



Med nya systemstöd i maskinhytten är det nu möjligt att optimera skotningsarbetet.

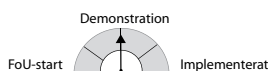
# Resultat

FRÅN SKOGFORSK NR. 18 2011

## Optimerad skotning av rundvirke, GROT och stubbar

Projektet Skotningsoptimering har utvecklat en modell som presenterar optimerade vägalternativ för att minimera skotningen. Tanken är att verktyget ska kunna implementeras i befintlig mjukvara i maskinerna för att ge skotarförarna, speciellt nya och oerfarna förare, ett verktyg för att lättare kunna planera skotningsarbetet. Alla indata som behövs till optimeringsmodellen finns i StandForD-data från skördarens produktionsfiler.

Vi har även testat att optimera bränsleskotning vid ett givet pris för skotningsarbetet. Genom att göra en känslighetsanalys med upprepade optimeringar går det att i detalj beräkna hur volymerna på en trakt ska skötas. Ett problem är GPS-koordinaternas bristande noggrannhet. Dessutom är det osäkert om avståndsberäkningarna från kartunderlag i 2D är tillräckligt noggranna.



Karin Westlund  
karin.westlund@skogforsk.se  
Tel 018-18 85 30

*"Det här planeringsverktyget skulle kunna underlätta skotningen betydligt och minska terrängtransporterna. Det leder i sin tur till mindre helkroppsvibrationer för föraren och sänkt bränsleförbrukning. Kvaliteten på arbetet skulle också förbättras då risken för kvarglömt virke minskar."*



## Effektivare skotning – nu är det möjligt!

Skotningsarbetet svarar för omkring 10 % av den totala råvarukostnaden. Stort fokus har hittills legat på skördarens produktivitet - möjligheterna till förbättringar har varit större där, då systemstöden varit bättre och mer utvecklade. Men mycket har hänt på senare år. GPS och GIS har en given plats i nya maskiner, tillsammans med pålitliga produktionsdata i standarden StanForD. Det ger underlag för en bättre skotningsplanering.

Skogforsk studerade under slutet av 90-talet hur skotningsarbetet skulle kunna effektiviseras genom IT-stöd och optimeringsmodeller. Studien indikerade en potentiell effektivisering motsvarande 8 % lägre kostnad för terrängtransport. Idag planeras skotarförarens vägval utifrån det vägnät som skördaren skapar

under avverkningen. De flesta förarna har genom erfarenhet lärt sig att planera effektiva skotningsvägar. Men även för en rutinerad förare är det svårt att hantera snö och mörker samt små, utspridda avverkningsområden, t.ex. vid barkborreangrepp.

### Syfte

Projektets syfte har varit att med hjälp av optimering skapa en modell för att beräkna optimala ruttval på en avverkad trakt för drivning av rundvirke, GROT och stubbar. Genom att ruttoptimera skotningen och presentera alternativa skotarvägar för att minimera det totala terrängtransportarbetet, får föraren hjälp med sin planering.

### Om studien

Vi har beräknat gränserna för lönsamhet avseende skotningsbara volymer av GROT resp. stubbar genom känslighetsanalyser. Modellen hanterar flera avlägg, samt samlastning av olika sortiment under samma rutt. Vidare bygger beräkningarna på standardiserade indata.

De indata som krävs för att kunna skapa optimala rutter för skotaren hämtas från skördarens HPR- och shapefiler. HPR-filerna innehåller uppgifter om sortiment, sortimentsvolymer och koordinater för skördarens uppställningsplatser. Shapefilen innehåller skördarens vägval i form av ett spårager och registreras under avverkningens gång, se figur 1.

Eftersom GPS-antennen sitter på maskinens tak kommer de registrerade stockarna att få koordinater som motsvarar uppställningsplatsen för maskinen under avverkningen.

Programmet är utvecklat för att presentera olika förslag på hur skotningsrutterna kan planeras med hänsyn till flera avlägg. Avläggsplatserna anges med x- och y-koordinater i modellen. En känslighetsanalys är möjlig att göra beroende på antal avlägg. Den tredje koordinaten, z-koordinatens höjdangivelse, har också lagts till i några beräkningar för att beräkna skillnaden i väglängd mellan rutterna i 2D resp. 3D.

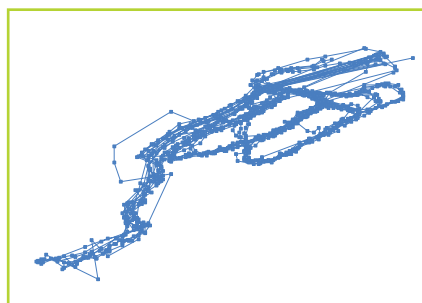
### Vägnät och volymer

Ett vägnät av skördarrutter skapas utifrån koordinaterna. I många fall har skördarens shapefil uppvisat ett ganska skakigt mönster, eftersom GPS-mottagningen ofta har varit av dålig kvalitet. Den skakiga signalen och faktumet att maskinen sällan är stilla gör att koordinaterna kan bli ganska spridda, se figur 2.

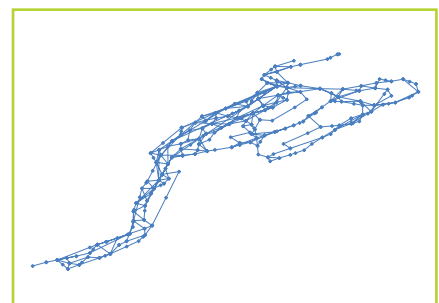
Koordinaterna aggregerades därför till medelpunkter för att skapa ett korrekt vägnät. Samma sak gäller för skördarens uppställningsplatser. Ett exempel på detta kan ses i figur 3. När skördarens körvägar är fastställda kan alla enskilda avverkade stockar kopplas samman med vägnätet.



Figur 1. Skördarens registrerade körvägar i Shape-filen.



Figur 2. Skördarens körvägar och uppställningsplatser - koordinater före aggregering.



Figur 3. Registrerade koordinater efter aggregering.

# Resultat

## Känslighetsanalys av bränsleskotning

Grotanpassning, för att underlätta tillvaratagande av GROT, bör endast ske på lönsamma delar av objektet. Med verktyget har vi därför utfört känslighetsanalyser för skotning av stubbar och/eller GROT. Modellen visar vilka volymer som är lönsamma att skota, i vilken ordning de ska tas, samt till vilka avlägg volymerna ska köras.

Testet utfördes på en av Korsnäs AB:s trakter. Trakten var 6 ha stor, med 40.5 ton GROT och 58.6 ton stubbar. Vi testade även effekterna av att använda ett eller tre avlägg.

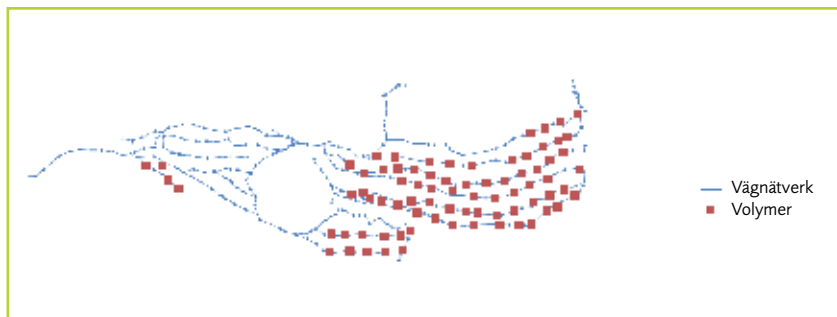
I figur 4 syns skördarens uppdragsvägar och de högar som registrerats. Högarnas volymer varierar.

Optimeringen bygger på ett fixt pris per ton för skotningsarbetet. Genom att göra en känslighetsanalys med upprepade optimeringar går det att få fram vilka minimivolymer som ska skotas, samt hur skotningen ska gå till (vilka högar som ska skotas och i vilken ordning) för att nå lönsamhet.

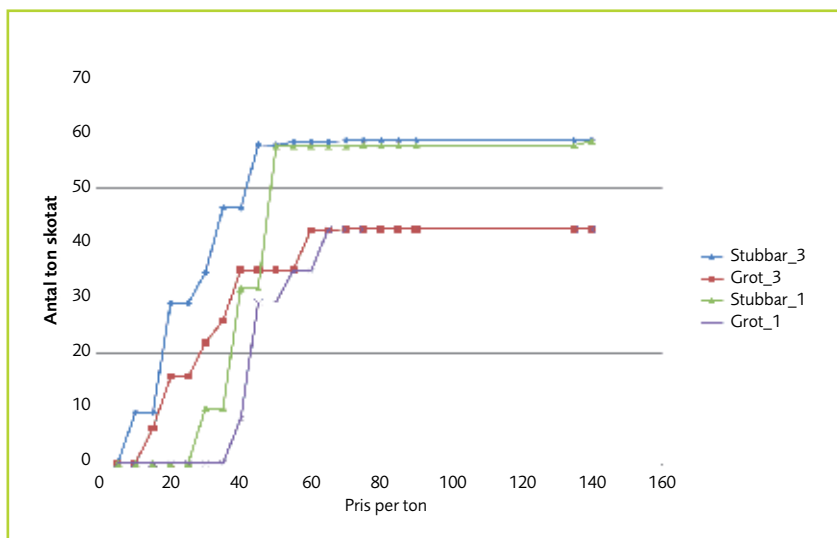
Genom att variera priset på biobränsle kan man studera priskänsligheten, d.v.s. hur mycket mer GROT (eller stubbar) som kan tas ut om priset höjs och hur stora volymer som faller bort om priset sänks.

Priskänsligheten för GROT och stubbar i intervallet 0-140 kr/ton visas i figur 5. Vid prisnivå 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. Att skota ut 20 ton GROT är i exemplet ca 10 kronor billigare per ton med tre avlägg än med ett.

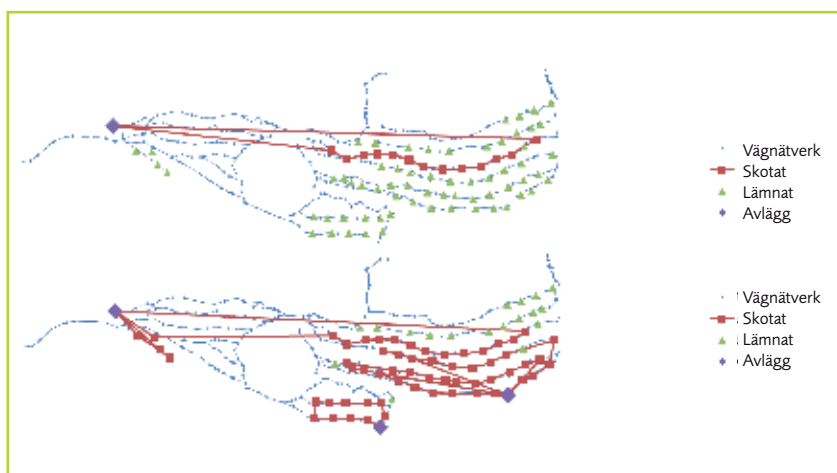
Figur 6 visar vilka högar som ska skotas samt vilka skotarrutter de tillhör. Här illustreras vilka rutter som ska användas för stubbar vid ett skotningspris på 35 kr/ton vid ett respektive tre avlägg i exempelbeståndet. 17% av den totala volymen var lönsam att skota vid användning av ett avlägg, jämfört med 82% av den totala volymen vid användning av tre avlägg.



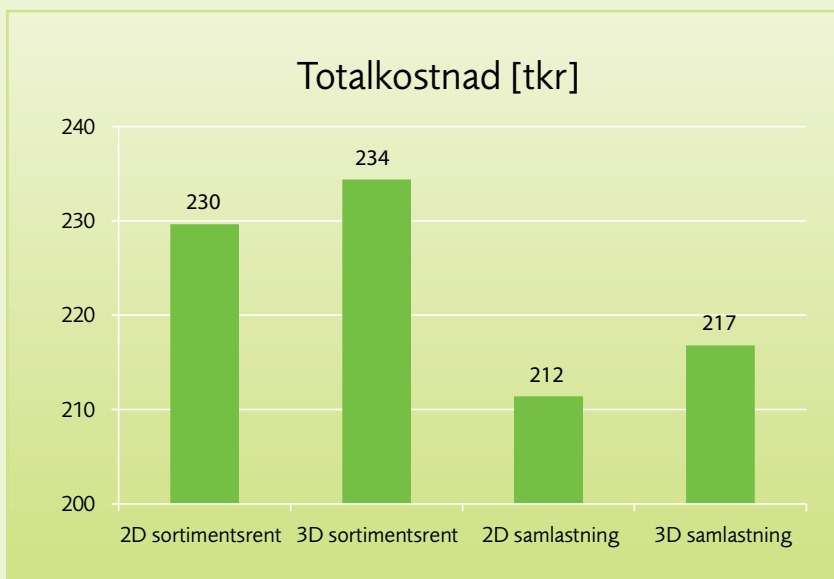
Figur 4. Skördarens vägnätverk samt positionering av GROT och stubbhögar.



Figur 5. Antal ton stubbar och GROT som skotas vid olika prisnivåer. Två olika scenarier med ett respektive tre avlägg visas i diagrammet (där "Stubbar\_3" betyder skotning av stubbar till tre avlägg, etc).



Figur 6. Vägval och förslag på skotningsrutter och volymer vid ett respektive tre avlägg.



Figur 7. Totalkostnad för olika förslag på skotningsrutter. En kostnad om 850 kr/timme för skotningen har använts i beräkningen.

### Väglängd i 3D

Efter avverkningen av en kuperad avverkningstrakt på SCA:s marker utanför Sundsvall hämtades koordinater från en skördare som registrerat sina GPS-positioner i 3D. Trakten omfattade totalt drygt 4000 m<sup>3</sup> fub rundvirke, uppdelat på åtta sortiment och analyserna gjordes för samlastad resp. sortimentsren skotning. Optimeringarna gjordes på samma sätt som tidigare, men nu beräknades väglängderna även i 3D med hänsyn till höjdskillnaderna och jämfördes med väglängderna i 2D. Skillnaderna var störst då marken är kuperad, medan plan mark gav små skillnader.

### Stora skillnader mellan 2D och 3D...

I jämförelse mellan avståndsberäkning för försöksleden "2D samlastning" och "3D samlastning" var skillnaden 8 km eller ca 13 %. Mellan "2D sortimentsrent" och "3D sortimentsrent" var skillnaden 10 km eller ca 12 % i köravstånd.

### ...och mellan samlastning resp. sortimentsrent

Skillnaden i körsträcka mellan samlastning och sortimentsrent var 27 procent, vilket motsvarar 21 km längre transporter med sortimentsrena lass. Framryckningshastigheten för en skotare är ca 0,8 m/s. En 21 km

längre skotningssträcka medför därför ca 7 timmars extra arbete.

### Diskussion

I detta projekt har gallringstrakter inte testats. I slutavverkningen var noggrannheten i positioneringen av skördaren och virkeshögarna i många fall undermålig. Trädskronorna försvårar en tillräckligt god positionering. Därför har vi bedömt tillförlitligheten som alltför dålig för att testa verktyget på en gallringstrakt. Resultaten visar också att avståndsberäkningar från koordinater i 2D resp. 3D bör utredas närmare.

I ESS-projektet "Skördarrapportering av GROT och stubbar" ges möjlighet att bygga vidare på ett planeringsverktyg för skotning av dessa sortiment. Det effektivaste körupplägget bör beräknas i förväg. Då kan olönsamma delar av hygget för GROT- respektive stubbuttag identifieras och undantas samt presenteras grafiskt tillsammans med traktdirektivet. Projektet visar att detta är möjligt.

Den ökade detaljkunskap om bränsleråvarans priselasticitet som erhålls genom dessa analyser kan utnyttjas vid försörjningsplanering, t.ex. för att ta beslut om ökad användning av skogsbränsle.

## Optimised forwarding of roundwood, logging residues and stumps

This Resultat describes a route optimisation program for forwarding. The model can present optimised route options that minimise transport in the forest and help the operator find a suitable route. The tool is intended for implementation in existing software in the machines where it will help operators, particularly those that are new and inexperienced, in the planning of forwarding. All input data needed for the optimisation model is available in the StanForD data from the production files in the harvester.

We have also tested optimisation of forest-fuel forwarding at a given price for forwarding. A sensitivity analysis with repeated optimisations allows calculation of the minimum volumes, selection of stacks and order of forwarding that is required to reach profitability at a given price. One problem is the lack of accuracy in GPS coordinates. It is also uncertain whether distance calculations based on 2D maps are sufficiently accurate.

### Läs mer

Westlund et al. Skotningsplanering. Arbetsrapport 753, Skogforsk, Uppsala 2012.

### Medförfattare

Petrus Jönsson, Skogforsk  
Patrik Flisberg och Mikael Rönnqvist, Linköpings Universitet