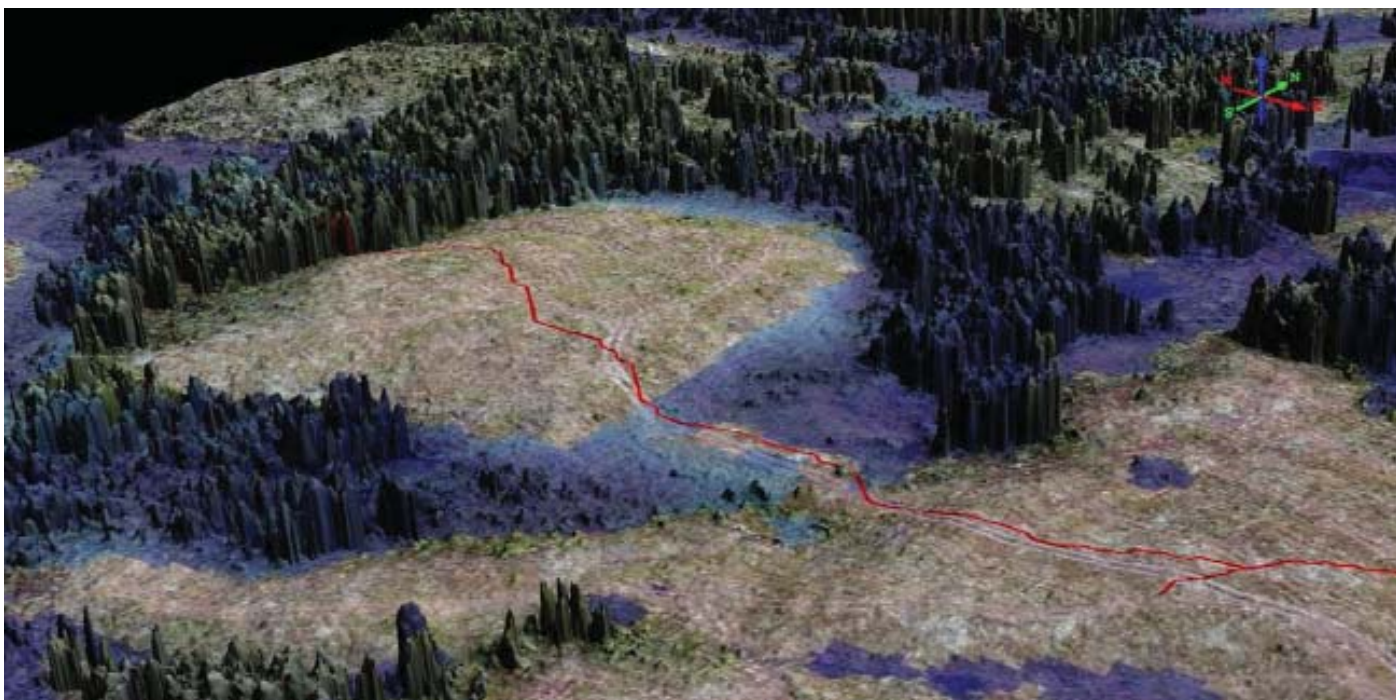




Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 945-2017

Bestway

**- Beslutsstöd för förslag till huvudbasvägar
för skotare - Metodrapport**

Bestway

**- Decision support tool for proposing main base roads
for forwarders - Method report**

Erik Willén, Gustav Friberg, Patrik Flisberg, Gert Andersson,
Mikael Rönqvist, Karin Westlund och Petrus Jönsson



Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 945-2017

I serien Arbetsrapport finns bakgrundsmaterial, metodbeskrivningar, resultat, analyser och slutsatser från både pågående och avslutad forskning.

Titel:

Bestway

- Beslutsstöd för förslag till huvudbasvägar för skotare, - Metodrapport Bestway
- Decision support tool for proposing main base roads for forwarders.
- Method report.

Bildtext:

Bilden visar ett drönarfoto med träd efter avverkning. Den röda linjen är den i förväg föreslagna basvägen och det går att se överensstämmelsen med skotarspårerna efter avverkning. Blå områden visar områden med hög markfuktighet som ska undvikas.

Ämnesord:

Planering, skotning, markfuktighetskarta, fjärranalys, terrängtransport.

Planning, forwarding, depth-to-water map, remote sensing, forest transport.

Redigering och formgivning:

Ingerd Hallberg

© Skogforsk 2017

ISSN 1404-305X



Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala

Tel: 018-18 85 00 Fax: 018-18 86 00

skogforsk@skogforsk.se

skogforsk.se



Erik Willén, är jägmästare med mer än 18 års erfarenhet av skoglig fjärranalys. På Skogforsk är Eriks expertområden geodata och fjärranalys för skoglig planering.



Gustav Friberg, jägmästare.

Projektledare för STIG-projektet. Forskare inom Skötsel- och Miljöprogrammet sedan 2014.



Patrik Flisberg, har disputerat i optimeringslära vid Linköpings universitet och arbetar med utveckling av planeringsstöd för skogsbrukets försörjningskedja.



Mikael Rönqvist, är professor vid Université Laval i Québec, Kanada och arbetar bl.a. med optimering i skogsbrukets försörjningskedja.



Gert Andersson, var 2013-2016 ansvarig för Skogforsks program Planering som hanterar frågeställningar kring operativ planering och logistik. Med start 2017 är Gert programchef för Driftsteknik på Skogforsk.



Karin Westlund, civilingenjör och arbetar med utveckling av planeringsstöd för skogsbrukets försörjningskedja.



Petrus Jönsson, fil.mag. Anställd vid Skogforsk sedan 2006. Arbetar i programmet Driftssystem. Fokus ligger på dynamisk simulering och utvärdering av maskinsystem.

Abstract

In recent years, increasing attention has been drawn to improving productivity in logging while reducing impact on soil and water. The forestry sector has used various methods to increase productivity and reduce impact on water through better planning of logging sites. The position of main extraction roads crucial in this work.

Bestway is a decision support tool that generates a main extraction roads proposal using an optimisation model that minimises total driving distance in the stand in relation to terrain, stand volume, position of the landing, and enforced passages. Input data to the optimisation model comprises a digital terrain model, depth-to-water map and wood volume layer. The information is supplemented with information about the extent of the stand, the position of the landing, nature and culture conservation sites, and any unavoidable crossings in the terrain.

The main extraction roads proposals have been evaluated on several felling sites. Experiences show that both planners and logging teams appreciate proposals for base and main base roads, particularly proposals regarding suitable routes to the inner parts of a site.

The evaluation of Bestway produces the following conclusions:

- Bestway is an effective decision support tool for proposing the positions of main base roads already in the pre-planning phase in the office.
- Bestway improves the efficiency of planning via scenario analyses (one or more landings, whether to build or not build a crossing, position of crossing), and relative key data allows comparison between different alternatives.
- According to the interviews with planners and logging teams, Bestway produces good proposals for main base routes but, in practical operation, the proposed route must often be adapted because of large rocks and wet areas not shown on the depth-to-water map.
- Wet sections are avoided effectively if they are shown on the depth-to-water map.
- Sideways inclination must be considered in more detail – this is included in the model but more tests are needed to determine a suitable level for acceptable inclination.
- Bestway must be developed to improve precision in calculating strip roads and time consumption.

An easy-to-use test tool has been developed for further demonstrations at forest companies in 2016–2017; this is presented in separate demonstration reports.

Förord

Bestway är ett beslutsstöd som ger förslag till huvudbasvägar inför kommande avverkning och skotning.

Projektet har kunnat genomföras tack vare finansiering från den särskilda satsningen från Skogforsk intressentmedel. Vi vill tacka styrgruppen ”Örnnäset” med deltagare från BillerudKorsnäs, Holmen, Mellanskog, SCA, StoraEnso och Södra som beviljat medel och stöttat projektet. Avrapporteringen sker i en metodrapport (denna avrapportering) samt kompletterande demonstrationsrapporter. Projektet har kunnat genomföras med starkt stöd och stora insatser från avverkningslag och personal på Orsa Besparingsskog, SCA Skog, Mellanskog och BillerudKorsnäs.

Vi vill också rikta ett varmt tack till samtliga ute på företagen som med intresse och klokskap stöttat arbetet.

Uppsala i augusti 2017

Erik Willén, Gustav Friberg, Patrik Flisberg, Gert Andersson,
Mikael Rönnqvist och Karin Westlund

Innehåll

Förord.....	1
Sammanfattning	3
Bakgrund och syfte.....	4
Skogsbrukets traktplanering.....	4
Vatten och körsador.....	5
Digitala terrängmodeller och markfuktighetskartor	5
Syfte och mål	6
Material och metod.....	7
Optimering.....	7
Indata.....	7
Matematisk grundmodell för optimering.....	7
Utväldningar av modellen för praktiskt bruk.....	11
Lösningsteknik	13
Fallstudier.....	14
Fallstudie 1	14
Indata.....	14
Genomförande.....	15
Fallstudie 2.....	16
Indata.....	16
Genomförande.....	16
Fallstudie 3.....	17
Urval av trakter och maskinlag.....	17
Indata SCA	17
Genomförande SCA	18
Indata – Orsa Besparingsskog	18
Resultat	20
Fallstudie 1 – BillerudKorsnäs.....	20
Fallstudie 2 – Examensarbete	21
Fallstudie 3 – Orsa besparingsskog och SCA Skog.....	22
Orsa Besparingsskog.....	22
Demonstrationsverktyg	28
Diskussion och slutsats.....	31
Indata	31
Modellutveckling.....	32
Utvärdering.....	33
Verktöget Bestway	34
Slutsatser	35
Referenser	36

Sammanfattning

Under senare år har problematiken kring produktivitet i drivningsarbetet i kombination med ökad skonsamhet kring mark och vatten uppmärksamats alltmer. Skogsbruket har genom olika insatser sökt öka produktiviteten samt motverka påverkan på vatten genom bättre planering av avverkningstrakterna. Basvägarnas placering är avgörande för produktiviteten och hur stor påverkan drivningen gör på mark och vatten.

Bestway är ett beslutsstöd som genererar ett basvägsförslag utifrån en optimeringsmodell som minimerar det totala köravståndet i beståndet med hänsyn till terräng, biståndsvolym, avläggens placering och tvingande passager. Indata till optimeringsmodellen består av digital terrängmodell, markfuktighetskarta samt virkesvolymsskikt. Informationen kompletteras med information om beståndens utbredning, avläggens placering, natur- och kulturhänsyn samt eventuellt tvingande överfarter i terrängen.

Basvägsförslagen har utvärderats på en mängd avverkningstrakter. Erfarenheterna visar att möjligheten att få förslag på bas- och huvudbasvägar är uppskattat av både planerare och avverkningslag, speciellt förslag på lämplig väg till inre delar av en trakt.

Utvecklingen av Bestway ger följande slutsatser:

- Bestway ger ett bra stöd för beräkning av huvudbasvägar redan i förplaneringsfasen på kontoret.
- Bestway erbjuder möjligheter till effektiv planering via scenarioanalys (ett eller flera avlägg, bygga eller inte bygga överfart, placering av överfart), relativa nyckeltal mellan olika alternativ kan användas.
- Bestway ger bra grundförslag på huvudbasstråk enligt de intervjuade planerarna och avverkningslagen men man kan inte köra blint efter dem då detaljer som t.ex. större stenar och fuktiga områden som inte fångats upp i markfuktighetskartan måste hanteras.
- Fuktiga partier undviks på ett bra sätt om de representeras i markfuktighetskartan.
- Sidolutning måste tas större hänsyn till – detta finns med i modellen men fler tester behövs för att bestämma lämplig nivå på hanterbar sidolutning.
- Bestway behöver utvecklas för bättre precision i beräkning av stickvägar och tidsåtgång.

Ett lättanvänt testverktyg har utvecklats för vidare demonstrationer vid skogsföretag under 2016–2017 vilka redovisas i separata demonstrationsrapporter.

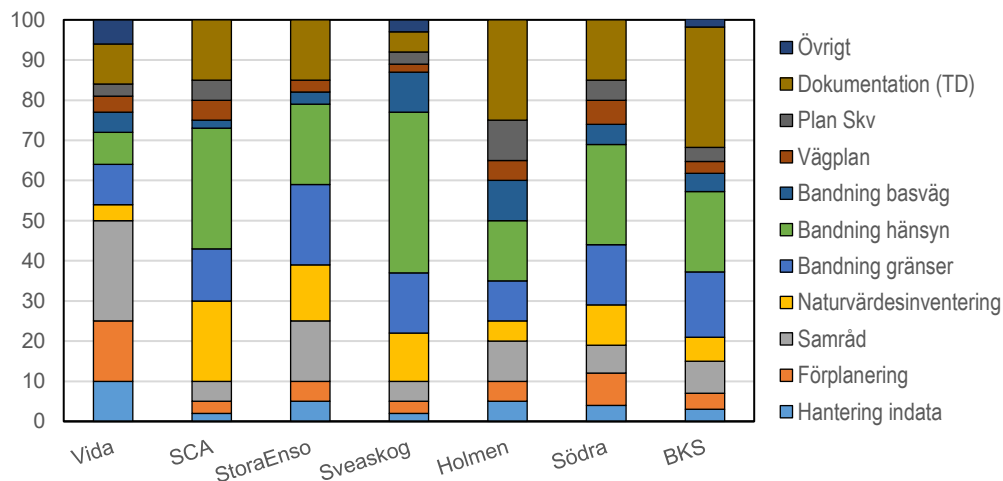
Bakgrund och syfte

SKOGSBRUKETS TRAKTPLANERING

Skogforsk genomförde under 2015 en intervjuundersökning kring traktplanering vid sju skogsföretag och skogsägarföreningar (Willén och Andersson, 2015). Studien visade att drivningsplaneringen är en nyckelfunktion för att klara högt ställda krav på natur- och kulturhänsyn samt produktivitet och kvalitet i drivningsarbetet. Såväl som planering för efterföljande skogsvård, våghållning och vägtransporter. Då drivning, transport och våghållning står för cirka 80 procent av skogsbrukets kostnadsmassa är planerarens insats en nyckelfaktor för kostnadseffektivitet liksom möjlighet till påverkan på intäkterna genom sin beskrivning av beståndets trädslags- och diameterfördelning samt stamfel för att säkerställa val av rätt apteringsinstruktion.

Utvecklingen av laserskanningen, digitala terrängmodeller och markfuktighetskartor har tillsammans med systemutveckling på företagen inneburit ett stort steg framåt för planerarens möjligheter att lösa sin uppgift. Skogforsk studie visar dock att planeringsarbetet kan rationaliseras, t.ex. genom att öka andelen förtydning före fältarbetet samt förenkling av administrativa rutiner vid utfärdande av traktdirektiv och vid myndighetskontakter.

Fältarbetet är den största delen av drivningsplaneringen, (Figur 1). Bandning (snitsling) av hänsyn och traktgränser är omfattande. Bandning av väg in till trakten gör de flesta (samtliga intervjuade) företagen i dag medan basvägar eller basstråk på trakten bara görs av vissa företag.



Figur 1.
Uppskattad tidsåtgång (%) av den totala skogliga drivningsplaneringen. Studie hos sju skogsföretag (Willén och Andersson, 2015).

VATTEN OCH KÖRSKADOR

Under senare år har problematiken kring mark och vatten uppmärksammas alltmer och skogsbruket har genom olika insatser sökt motverka påverkan på vatten genom att minimera körsador från avverkningsmaskinerna. En branschgemensam miljöpolicy om körsador på skogsmark har upprättats för att visa på god praxis och kvalificerar olika körsador (Berg, 2010).

Studier visar att skador efter avverkningsmaskinerna är koncentrerade till fuktig mark och blöt mark medan skadorna på torr och frisk mark är begränsade (Bergkvist m.fl., 2014; Friberg m.fl., 2016). Genom att koncentrera terrängkörning till bäriga områden och arbeta med olika metoder som att risa och bygga överfarter över blöta områden och känsliga partier så kan skador på marken minskas.

DIGITALA TERRÄNGMODELLER OCH MARKFUKTIGHETSKARTOR

Lantmäteriets nationella höjdmodell skapad genom laserskanning har inneburit ett genombrott för den skogliga planeringen, både möjligheten att kostnads-effektivt skapa precisa digitala terrängmodeller och med hög upplösning beskriva skogsbestånds höjd- och volymvariation.

De markfuktighetskarter som University of New Brunswick utvecklat (Bergkvist m.fl., 2014) för att modellera grundvattnets avstånd till markytan utifrån höjd och lutningsförhållanden i terrängen i förhållande till omkringliggande terräng har varit avgörande (Figur 2). Skogforsk har använt och utvecklat denna metodik.



Figur 2.
Markfuktighetskarten visar områden där grundvattnet enligt modellen finns mindre än 1 meter från markytan. Här visas resultatet i en sträckt skala med olika blå nyans (mörkblå = 0 meter – ljusblå = 1 meter, från markytan).

Utvärderingar visar att markfuktighetskartorna har en stor potential att sänka antalet allvarliga körskador (Friberg m.fl., 2016). Klassningen av markfuktighet överensstämmer väl mellan fältinventering och kartbild (Bergkvist m.fl., 2014).

SPORRE

Bestway är en vidareutveckling av en tidigare optimeringsansats för planering av avverkningsarbetet, SPORRE (Jönsson m.fl., 2011). SPORRE, eller GROTPORRE, är ett ruttoptimeringsprogram för skotning av en trakt med rundvirke, GROT och/eller stubbar som började utvecklas i slutet av 1990-talet. Med information från skördarens körvägar och producerad virkes- och skogsbränslevolym skulle skotningsarbetet optimeras. Modellen presenterade alternativa skotarvägar för att minimera det totala terrängtransportarbetet. Indata till optimeringsmodellen byggde på standardiserade data från skördarens produktionsfiler. Resultatet gavs som noder som skotaren skulle passera och i vilken ordning. För varje nod angavs vilka sortiment (högar) som skulle lastas med tillhörande volym eller vikt.

STIG

Skogforsk har i STIG-projektet (Skoglig Terränganalys i GIS) sedan 2010 arbetat med att utveckla och utforma bättre traktunderlag och kartor för planering och drivning (Bergkvist m.fl., 2014). Lantmäteriets markmodell som tidigare hade en detaljeringsgrad på 50 meter ökade i en uppdaterad version till detaljeringsgraden 2 meter, vilket har varit en förutsättning för att ta fram heltäckande underlag som beskriver den lokala variationen inom trakter för drivning. Med markfuktighetskartan, som baseras på den detaljerade markmodellen, som stöd och en utvecklad arbetsmetod får planerare och förare en rutin för att minimera körskador och öka drivningsarbetets produktivitet.

Syfte och mål

Baserat på SPORRE och STIG – projekten identifierades ett behov av att ta fram beslutsstöd med förslag på basvägar, *Bestway*, som stöd under förplaneringen av drivningsplaneringen.

Syftet med projektet är att:

- Utveckla en optimeringsrutin som automatiserat kan ta emot data från ett företagssystem, genomföra optimeringsberäkningen och returnera förslag på bas- och huvudbasvägar (vektorformat) samt nyckeltal för beräknad skotningssträcka och tidsåtgång för skotningen.
- Stödja ett eller flera företags implementering av Bestway i sina företagssystem (GIS och/eller fältGIS).

Målet var att utveckla och utvärdera ett användarvänligt verktyg i samarbete med skogsföretag.

Material och metod

OPTIMERING

Indata

För att utföra en Bestway-optimering krävs beräkningsdata och användardata. Beräkningsdata är heltäckande över trakten medan användardata samlas in separat, ofta i fält, för respektive trakt. En beskrivning av terräng, markfuktighet och virkesvolym behövs för att skapa terrängtransportförslag och hänsynsytor betecknas som NoGo-ytor, d.v.s. områden där markpåverkan ska undvikas helt. Här specificeras vilka datatyper som behövs som indata:

- **Beräkningsdata**
 - Terrängmodell.
 - Markfuktighetskarta.
 - Virkesvolym i form av raster som täcker hela trakten.
 - Hänsynsskikt (exempelvis nyckelbiotoper eller kända fornminnen).
- **Användardata**
 - Avlägg.
 - Överfarter.
 - Eventuellt tillkommande hänsyn.

I projektet nyttjades olika indata, vilket specificeras för respektive fallstudie.

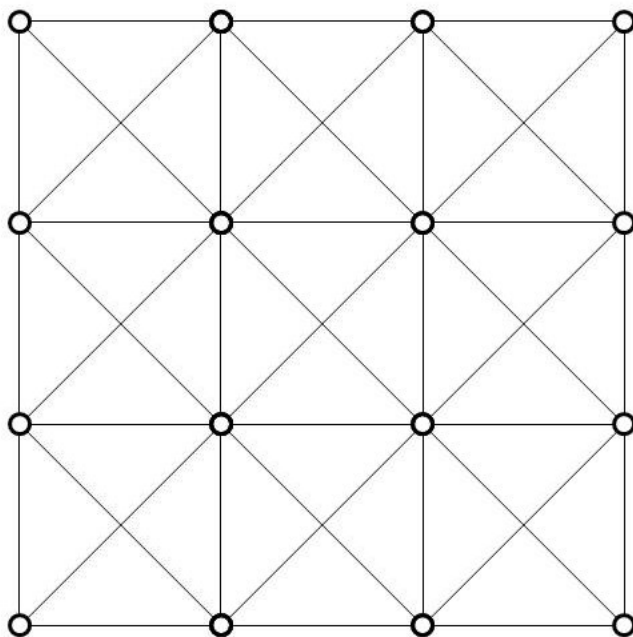
Matematisk grundmodell för optimering

Optimeringsmodellen i Bestway balanserar två separata mål:

- Kortaste körtiden för skotning av virke.
- Placering av körvägarna med hänsyn till naturvärden, virkesvolym, mark och vatten.

Målen kan sammanfalla (men behöver inte det) och den matematiska modell som kan användas för problemlösningen är närbesläktad med ett så kallat nätverksdesignproblem (Lundgren m.fl., 2010).

Optimeringen utförs med en yta som i projektet utgjorts av rasterdata om 3×3 meterspixlar. Pixlarnas mittpunkter benämns vidare som ”noder” och ut från varje nod finns åtta ”länkar” vilka leder till alla närliggande pixlar i rastret. Det finns begränsningar på var man kan köra, vilket kan leda till att alla åtta länkarna inte alltid finns med i optimeringen. Varje länk utgörs därför av två ”bågar” som representerar länkens två riktningar. Figur 3 illustrerar en sektion med 16 pixlar som exempel där noderna är utmärkta som ringar och länkarna som streck mellan ringarna. Länkarna är inte riktade och med riktning kallas de för bågar.



Figur 3.
Illustration av en diskretisering av en trakts delområde till ett nätverk bestående av noder, länkar.

Pixelstorlek om 3×3 meter avgjordes då tre meter kan motsvara den bredd en skotare eller skördare utgör och varje pixel motsvarar då en maskinbredd.

Till noderna kopplas virkesvolymen på trakten och benämns då som en tillgångsnod. Motsatsen är en efterfrågenod som utgörs av avläggaren. Det tänkta virket kan tänkas transporteras från varje tillgångsnod via bågar och andra noder till en efterfrågenod. Detta blir flödet på trakten.

Variabler för modellen definieras enligt:

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{om länk mellan nod } i \text{ och } j \text{ används} \\ 0, & \text{annars} \end{cases}$$

$$x_{ij} = \text{flöde på båge mellan nod } i \text{ och } j$$

De bivillkor som krävs är att se till så att flödesjämvikt råder på respektive nod d.v.s. det ska flöda in lika mycket som det flödar ut.

$$s_i = \text{tillgång på nod } i \text{ (volym i } m^3 \text{)}$$

$$d_j = \text{efterfrågan på nod } j \text{ (volym i } m^3 \text{)}$$

Villkoret på flödesjämvikt kan beskrivas matematiskt för respektive nod p enligt följande:

$$\sum_{ip \in B} x_{ip} - \sum_{pj \in B} x_{pj} = \begin{cases} -s_p, & \text{om } p \text{ är en tillgångsnod} \\ d_p, & \text{om } p \text{ är en efterfrågenod} \\ 0, & \text{annars} \end{cases}$$

- Mängden av alla bågar = B .
- Mängden av alla länkar = D .
- Mängden av alla tillgångsnoder = S .
- Mängden av alla efterfrågenoder = D .

$x_{ij} + x_{ji} \leq M y_{ij}$ för alla länkar D där M är ett stort tal och anger att en länk behöver användas om ett flöde ska skickas på någon av dess bågar.

Varje nod knyts till verkliga terrängförutsättningar givna i rasterdata via koordinater. Indatat bakas samman till en kostnadsindexyta vilken utgör rastret som angivits som indata. Ytans värde baseras på tiden det tar att köra (beroende på bl.a. lutning). Bågar som passerar ytan erhåller således en relativ kostnad som bygger på information om ytan och kan även erhålla ett straff om ytan finns placerad på ställen där körning skall undvikas (hänsynsytor, fuktiga och blöta områden m.m.).

Skador och straff beskrivs via en fast kostnad f_{ij} kopplad till y-variablerna. samt en rörlig enhetskostnad c_{ij} kopplad till x-variablerna (där också en kostnad som bygger på kostnadsindexytan ingår).

För enhetskostnaden kommer volymflödet att multipliceras med enhetskostnaden så att större flöden får högre kostnad.

Målfunktionen:

$$\sum_{(ij) \in D} f_{ij} y_{ij} + \sum_{(ij) \in B} c_{ij} x_{ij}$$

Den kompletta modellen:

$$\min \left(\sum_{(ij) \in D} f_{ij} y_{ij} + \sum_{(ij) \in B} c_{ij} x_{ij} \right)$$

då

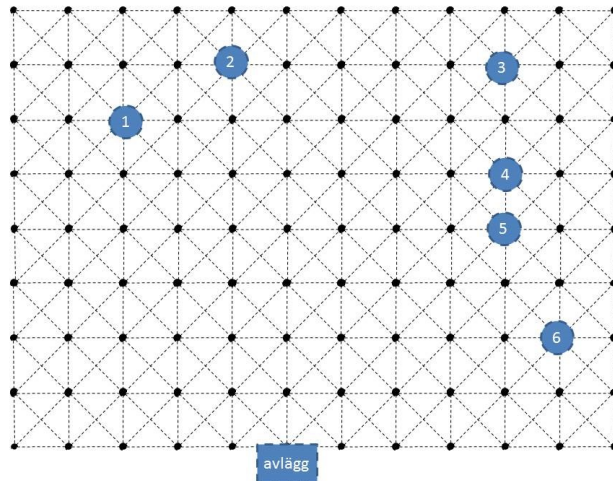
$$\sum_{ip \in B} x_{ip} - \sum_{pj \in B} x_{pj} = \begin{cases} -s_p, & \text{om } p \text{ är en tillgångsnod} \\ d_p, & \text{om } p \text{ är en efterfrågenod} \\ 0, & \text{annars} \end{cases} \quad \text{för alla noder i } N$$

$$x_{ij} + x_{ji} \leq M y_{ij}, \quad \text{för alla länkar i } D$$

$$y_{ij} \in \{0,1\}, \quad \text{för alla länkar i } D$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad \text{för alla bågar i } B$$

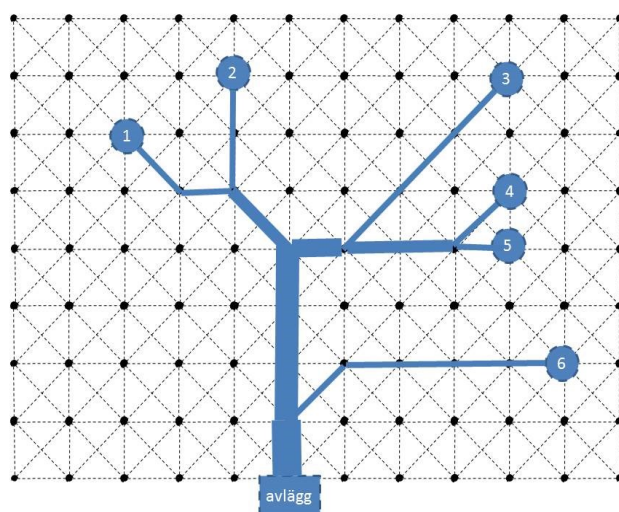
Figur 4 och Figur 5 visar hur modellen fungerar på ett exempel med 6 tillgångsnoder (virkeshögar) och en efterfrågenod (avlägg).



Figur 4.

Ett illustrativt exempel med sex tillgångsnoder (högar) och en efterfrågenod (avlägg).

Med lämpliga nivåer på fasta och rörliga kostnader så skulle modellen kunna ge lösningen i (Figur 5) där tjockleken på länkarna motsvarar flödets storlek. Både kostnaden att använda länkar och flödeskostnaden minimeras.



Figur 5.
Lösning till det illustrativa exemplet med sex tillgångsnoder och en efterfrågenod.

Utvidgningar av modellen för praktiskt bruk

För anpassning till praktiskt bruk kompletterades modellen med:

1. Uteslut bågar för hänsynstagande (t.ex. kolbotten, vattendrag) där körning ej är tillåten.
1. Hantering av olika sortiment.
2. Tomkörning från efterfrågenod till tillgångsnod.
3. Hantering av flera avlägg och divergerande kapacitet.
4. Hantering av maskinspecifika data (lastkapacitet, körhastighet m.m.)

Den modifierade variabeldefinitionen blev:

$$y_{ijl} = \begin{cases} 1, & \text{om länk mellan nod } i \text{ och } j \text{ används med nivå } l \\ 0, & \text{annars} \end{cases}$$

$$x_{ijk} = \text{flöde på båge mellan nod } i \text{ och } j \text{ av sortiment } k$$

$$q_{ij} = \text{flöde på länk mellan nod } i \text{ och } j$$

På motsvarande sätt behöver vi också definiera om koefficienterna f_{ijl} , c_{ijk} , s_{pk} , d_{pk} , M_{ijl} . Mängden L definieras som de olika nivåer av antal överfarter en länk kan hantera och mängden K är alla sortiment. Den nya reviderade modellen formuleras:

$\min \left(\sum_{(ij) \in D} \sum_{l \in L} f_{ijl} y_{ijl} + \sum_{(ij) \in B} \sum_{k \in K} c_{ijk} x_{ijk} \right)$		
då		
$\sum_{ip \in B} x_{ipk} - \sum_{pj \in B} x_{pjk} = \begin{cases} -s_{pk}, & \text{om } p \text{ är en tillgångsnod} \\ d_{kp}, & \text{om } p \text{ är en efterfrågenod} \\ 0, & \text{annars} \end{cases}$	för alla noder p i N och sortiment k i K	(1)
$q_{ij} = \sum_{k \in K} (x_{ijk} + x_{jik})$	för alla länkar (ij) i D	(2)
$q_{ij} \leq \sum_{l \in L} M_{ijl} y_{ijl},$	för alla länkar (ij) i D	(3)
$\sum_{l \in L} y_{ijl} \leq 1,$	för alla länkar (ij) i D	(4)
$y_{ipj} \leq a_{ipj} (1 - y_{pjl}), D$	för alla noder p i N och länkar (ij) i D	(5)
$y_{ijl} \in \{0,1\}, f$	för alla länkar (ij) i D och nivåer l i L	(6)
$x_{ijk} \geq 0,$	för alla bågar (ij) i B och sortiment k i K	(7)
$x_{ijk} = 0$	För alla bågar (ij) ej i B och sortiment k i K	(8)
$q_{ij} \geq 0,$	för alla länkar (ij) i D	(9)

- Villkor (2) beskriver sambandet mellan x och q variablerna.
- Villkor (3) beskriver samband mellan q och y variablerna.
- Villkor (4) reglerar att enbart en nivå av flöde kan användas.
- Villkor (5) anger begränsningar av kurvtagning.
- Villkor (6) är ett binärt krav.
- Villkor (7) och (9) är icke-negativitetsvillkor.
- Villkor (8) krav att inget flöde sker på otillåtna bågar.

Koefficienterna a_{ipj} bestäms av specifika svängmöjligheter på skotarna. Det villkor som försvunnit är sambandet mellan x och y variablerna, vilket ersatts av (2) och (3). M_{ijl} är kapacitetsbegränsningar på respektive länk på en viss nivå.

Lösningssmetodik

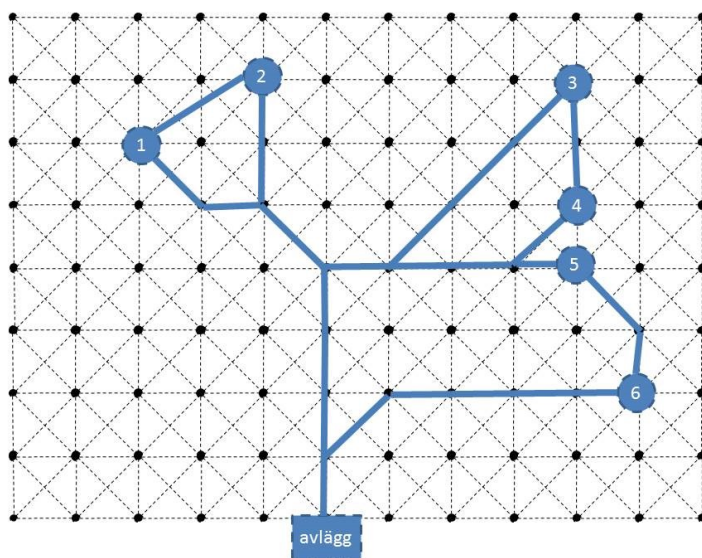
En heuristisk lösningssmetodik, Lagrangeheuristik, användes för att lösa optimeringsproblemet för den presenterade modellen. Den baseras på Lagrangerelaxation och subgradientoptimering (Lundgren m.fl., 2010). Bivillkor relaxerades och de återstående villkoren gav relativt enkla problem att lösa. Genom subgradientoptimering straffades iterativt avvikelser i de relaxerade bivillkoren för att konvergera mot en lösning som motsvarar modellens optimala lösning.

I studien relaxerades bivillkoren som kopplade ihop flöden i nätverket med olika nivåer på flödesnivåerna (*Bivillkor 3*). När denna relaxation genomfördes föll det ursprungliga optimeringsproblemet ut som två delproblem:

1. Att hitta den billigaste vägen mellan varje tillgångsnod och varje efterfrågenod.
2. Att beräkna en reducerad kostnad för varje båge.

Delproblem 1 kunde skapa flera parallella vägar med orimlig placering nära varandra, vilket ej är effektivt ur ett praktiskt logistikperspektiv. Med subgradientmetodiken straffades då sådana lösningar och i stället gynnades lösningar med färre antal använda bågar, vilket styrde mot en väg i stället för flera.

Genom flera iterationer formades en lösning och från lösningsexemplet i (Figur 4 och 5) antogs lösningen som Figur 6 visar efter den praktiska anpassningen av modellen.



Figur 6
Illustration av en lösning där de praktiska kraven tillgodoses samtidigt.

För att sedan beräkna körsträckor, tidsåtgång och andra relevanta nyckeltal givet det optimerade körvägsnätet användes metodiken från SPORRE (Flisberg m.fl., 2007).

Fallstudier

Under tre fallstudier har Bestway metodiken utvärderats från en teoretisk forskarmiljö till praktisk avverkning.

1. Fallstudie 1 skedde i Uppland hos BillerudKorsnäs med initiala tester av optimeringsmodellen för att undersöka potentialen i en modell jämfört med verklighetens avverkningarbete.
2. Fallstudie 2 var ett examensarbete vid SLU där två trakter i Västergötland analyserades och utvärderades med avseende påkörsträckor, tidsåtgång och den praktiska potentialen för användandet av resultaten.
3. Fallstudie 3 gjordes i samarbete med SCA Skog och Orsa besparingsskogar där basvägsförslagen användes i praktiken vid faktiska avverkningar.

FALLSTUDIE 1

Indata

- **Beräkningsdata**
 - Terrängmodell: Terrängmodell (1×1 meter upplösning) från laserdata.
 - Markfuktighetskarta: Depth to water (University of New Brunswick).
 - Virkesvolym: Volymsskattningar (single tree¹⁾) från högupplöst laserdata.
 - Hänsynsskikt: Från digitala traktdirektiv av BillerudKorsnäs.
- **Användardata.**
 - Avlägg: Lades ut efter förslag från fältplanering.
 - Överfarter: Lades ut enligt förslag från fältplanering.

¹⁾ <http://www.foran.se/sv/produkter-tjanster/11-svenska/87-foran-laserscanning>

Genomförande

Fallstudie 1 var en konceptstudie som syftade till att korrigera och förbättra optimeringarna samtidigt som jämförelser mellan den teoretiska modellen och det praktiska utfallet kunde göras över en trakt. Information om samtliga trädets placering användes (Figur 7) och trakten var 35 hektar med cirka 14 000 träd. Namnet på trakten var Älgmon.



Figur 7.
Exempel på lidardata på en trakt (vänster) och en mer detaljerad bild på individuella träd (höger).

Skotarens kran antogs ha 15 meters räckvidd, vilket nyttjades för att generera ett minimalt antal uppställningsplatser varifrån skotaren kunde nå alla tänkta avverkade träd (eller snarare virkeshögar). Uppställningsplatserna utgjorde alltså tillgångsnoderna i optimeringsmodellen. Resultatet ges i Figur 8 och det går att notera hur det är betydligt färre uppställningsplatser (punkter) än trädpunkterna i Figur 7.



Figur 8.
Uppställningsplatser på trakten.

En iterativ process med rimlighetsbedömningar av maskinförare och andra erfarna drivningsexperter genomfördes för att skapa en arbetsgång för Bestway.

FALLSTUDIE 2

Examensarbetet finns separat och mer genomgående beskrivet av Friberg (2014). Bestway testades på två trakter med syftet undersöka om körsträckan och eller tidsåtgången på en avverkning kunde minskas genom att körvägarna optimerades med Bestway.

Indata

- **Beräkningsdata**
 - Terrängmodell: Grid2+ från Lantmäteriet.
 - Markfuktighetskarta: Depth to water (University of New Brunswick's metod).
 - Virkesvolym: Skördardata (hpr-fil från skördaren som avverkade trakterna).
 - Hänsynsskikt: Från traktdirektiv av värdföretaget.
- **Användardata**
 - Avlägg: Lades ut efter fältbesök på trakterna.
 - Överfarter: Lades ut efter fältbesök på trakterna.

Genomförande

Optimeringen utfördes i enlighet med *Fallstudie 1*. Dock användes virkesvolymen från skördarens hpr-filer som indata för volymen i stället för virkesvolymen från laserdata. Detta föranledde att optimeringssteget där uppställningsplatser för skotaren genererades inte utfördes då hpr-filernas GPS-positioner fick utgöra dessa.

Bestway användes i fallstudien på två trakter där fyra olika scenarier av skotning gjordes med Bestway på varje trakt för att sedan jämföras.

Scenarierna var:

- A. Den utfallande körsträckan från den verkliga skotningen.
- B. Den utfallande körsträckan från optimeringen (Bestway) med placering av överfarter och avlägg i enlighet med den verkliga skotningens utförande.
- C. Den utfallande körsträckan från optimeringen med alternativa placeringar av överfarter och avlägg gentemot den verkliga skotarens utförande.
- D. Den utfallande körsträckan från optimeringen på den verkliga skotarens körvägsnät.

FALLSTUDIE 3

Fallstudie 3 behandlade en praktisk tillämpning, dvs före avverkning, av Bestway för skogsbruket.

SCA Skog och Orsa Besparingsskog var värdföretag och de tillhandahöll var sitt maskinlag för studierna. De tidigare fallstudierna hade fokuserat på teoretisk utvärdering och testkörningar av några få trakter för att bedöma relevansen i resultaten och om det fanns en potential att fortsätta med optimeringen. Under *Fallstudie 3* kördes istället fler trakter, totalt 10 stycken. Dessutom vägdes alternativa sätt att driva trakterna mot varandra på varje trakt, med Bestways optimeringar som underlag. Tanken var att planerarna skulle nyttja Bestway som ett beslutsunderlag för att välja de mest kostnadseffektiva körvägarna.

Genom att Bestway-optimeringen gjordes innan avverkning, kunde dessutom maskinförarna testa att använda optimeringens föreslagna vägar under avverkningsarbetet.

En GPS användes för att logga skördarens och skotarens arbete. Ett loggningsintervall på en sekund resulterade i detaljerade data över maskinernas körning på studietrakterna.

Urval av trakter och maskinlag

Studietrakterna ingick i STIG-projektet (Friberg m.fl., 2016) vid Skogforsk och för synergieffekter vid dokumentation och kostnadseffektivitet vid inventeringar valdes trakterna som de båda företagen valt ut till STIG-projektet att användas för även denna studie. Då STIG-projektet syftade till att utvärdera markfuktighetskartor skulle trakterna innehålla fuktig och blöt mark, vilket inte ansågs utgöra något hinder för testerna av Bestway. Vidare utsågs de deltagande maskinförarna av företagen utifrån praktiska omständigheter.

Indata SCA

Beräkningsdata

- Terrängmodell: Grid2+ från Lantmäteriet.
- Markfuktighetskarta: Depth to water (University of New Brunswick's metod).
- Virkesvolym: Skogliga volymsskattningar från värdföretaget.
- Hänsynsskikt: Från traktdirektiv av värdföretaget.
- **Användardata.**
 - Avlägg: Lades ut av skogliga planerare.
 - Överfarter: Lades ut av skogliga planerare.

Genomförande SCA

Optimeringen utfördes på fyra av de utvalda trakterna. En traktplanerare hos SCA genomförde traktplanering och hade då också en uppmaning från projektet att identifiera alternativa sätt att driva trakten på.

Alternativet/en skulle innebära att Bestway kunde användas som beslutsunderlag för att välja, vilket alternativ som skulle användas vid drivningen. Det kunde vara att placera avlägget på en alternativ plats, eller att bygga en överfart över en hänsynsyta för att korta ned skotningsavståndet. Två till tre alternativ per trakt togs fram och det alternativ som genererade kortast körsträcka under avverkningen valdes.

Basvägsförslaget från Bestway användes sedan vid avverkningen och utvärdering och intervjuer av maskinförarna gjordes för att undersöka huruvida förslaget hade påverkat avverkningsarbetet.

INDATA – ORSA BESPARINGSSKOG

- **Beräkningsdata**
 - Terrängmodell: Grid2+ från Lantmäteriet.
 - Markfuktighetskarta: Baserat på värdföretagets markfuktighetskarta.
 - Virkesvolym: Skogliga volymsskattningar från värdföretaget.
 - Hänsynsskikt: Från traktdirektiv av värdföretaget.
- **Användardata**
 - Avlägg: Lades ut av planerare.
 - Överfarter: Lades ut av planerare.

Markfuktighetskartan från Orsa besparingsskog anpassades den för att motsvara markfuktighetskartan från University of New Brunswick som användes av SCA Skog.

Genomförande

Optimeringen utfördes på sex av Orsa Besparingsskog utvalda trakter. En traktplanerare hos Orsa Besparingsskog genomförde traktplanering och hade då också en uppmaning från projektet att identifiera alternativa sätt att driva trakten på.

Alternativet/en skulle innebära att Bestway kunde användas som beslutsunderlag för att välja vilket alternativ som skulle användas vid drivningen. Det kunde vara att placera avlägget på en alternativ plats, eller att bygga en överfart över en hänsynsyta för att korta ned skotningsavståndet. Två till tre alternativ per trakt togs fram och diskuterades med maskinlaget. Diskussionens konsensus avgjorde vilket alternativ som blev aktuellt att använda under avverkningsarbetet.

Basvägsförslaget från Bestway användes sedan vid avverkningen och utvärdering och intervjuer av maskinförarna gjordes för att undersöka huruvida förslaget hade påverkat avverkningsarbetet.

Utveckling av demonstrationsverktyg

För att kunna demonstrera Bestway i praktisk användning skapades ett fristående verktyg i form av körbar fil (*.exe) baserat på följande specifikationer och användarfall utvecklade i dialog med skogsföretag.

Tabell 1.
Användarspecifikationer för Bestway demonstrationsverktyg.

Egenskap		Krav	Kommentar
Systemmiljö	Operativsystem		Windows 7
	Hårdvara		Moderna bärbara PC
	Installationsmiljö		Exe - köra direkt.
Datautbyte	Dataöverföring	Utbyte av filer.	Filformat *.shp
Databearbetning	Processtid.	Snitt < 5 minuter (krav).	Enstaka stora trakter (20 hektar) kanske > 5 minuter.
Indata för operatör	Beståndsavgränsning.	Vektorformat (*.shp).	Storlek sammanslagning av trakt delar, upp till cirka 20 hektar kan förekomma.
	Avläggspunkter.	Vektorformat (*.shp).	Möjlighet till flera avlägg.
	Tvingande överfart.	Ska vara möjligt att lägga in Vektorformat (*.shp).	Markera start/slut utanför områden där körning inte får ske (NoGo).
	Kompletterande hänsyn identifierade i fält.	Ska vara möjligt att lägga in Vektorformat (*.shp).	
Utdata	Resultat från Bestway.	Vektorfil med basvägsförslag (*.shp)	
Nyckeltal	Summering av resultat från Bestway.	• Total skotningssträcka. • Skotad areal. • Skotad virkesvolym. • Förslag till medel-skotningsavstånd.	Textfil.

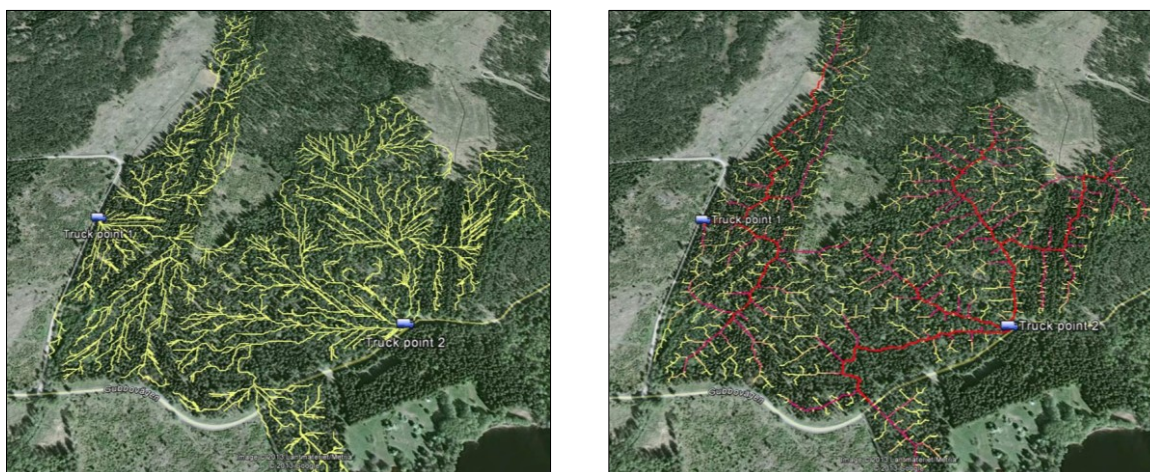
Följande arbetsgång på skogsföretag identifierades:

1. Planeraren/Inspektor/Produktionsledare märker ut trakt, avlägg, ev. tillkommande NoGo och ev. tillkommande tvingande överfarter.
2. Start av exe-filen Bestway, dialogruta kommer upp och följande anges/utförs:
 - A. Shpe avv. Trakt – ange sökväg (obligatorisk).
 - B. Shpe avlägg – ange sökväg (obligatorisk).
 - C. Ange var resultatfil (shpe + txt) ska placeras (obligatorisk).
 - D. Ange eventuell tillkommande NoGo – ange sökväg.
 - E. Ange eventuell tvingande överfart.
 - F. Ange inställningar – t.ex. sökvägar.
 - G. Starta körning och på börja iteration 2 a – f för tillkommande scenarios (avlägg, överfarter...).
3. Resultat i form av basvägar + summering av nyckeltal används i GIS-analys på kontoret.
4. Fältinventering för att stämma av förslag till basvägsdragning.

Resultat

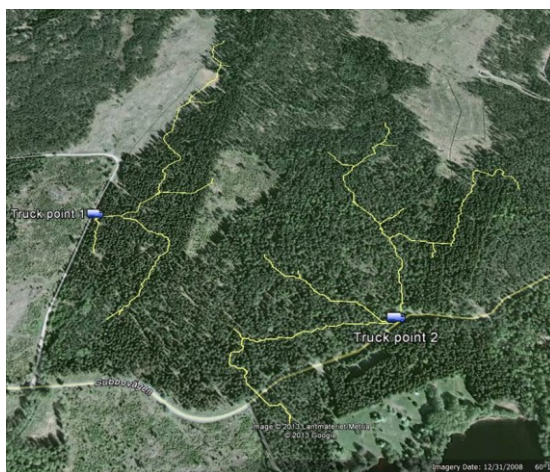
FALLSTUDIE 1 – BILLERUDKORSNÄS

Då optimeringen körs itereras den för att succesivt skapa ett användbart vägnät i trakten för skotaren. För Älgmon såg vägnätverket ut enligt den vänstra bilden i (Figur 9) efter den första iterationen för att efter vidare körningar, till en så gott som optimal lösning nåtts, ge vägnätet som ses i den högra bilden i (Figur 9).



Figur 9.
Lösning efter första iterationen (vänster) och efter sista iterationen.

Vägnätet som bildats analyserades och diskuterades sedan igenom avseende funktionalitet och användbarhet för avverknings och planeringsarbete ihop med maskinförare och tjänstemän. Det totala vägnätet var inte praktiskt utformat. Vägarna kunde sluta plötsligt och göra lämpliga rutter utan att behöva backa och vända skotaren svåra att genomföra. Dock uttrycktes intresse för basvägarna och huvudbasvägarna på trakten som därför fick bli fokus för vidare undersökning. Figur 10 visar basvägar och huvudbasvägar för Älgmon, samma vägsystem visas i Figur 9 men då inkluderas också de mindre körvägarna.



Figur 10.
Identifierade basvägar.

FALLSTUDIE 2 – EXAMENSARBETE

Scenario A i studien (Friberg, 2014) utgörs av det verkliga skotningsarbetet varför de övriga scenarierna ställdes i relation till A. Utöver de två trakterna har det i studien också räknats med en skotare som lastar endast ett sortiment eller som lastar flera sortiment. I Tabell 2 har endast värdena för flera sortiment redovisats för valda nyckeltal. För övriga jämförelser hänvisas till Friberg (2014).

Tabell 2.
Resultat från olika scenarier i Fallstudie 2.

Trakt	Scenario	Körsträcka (kilometer)	Minskad körsträcka (procent)	Medelskotningsavstånd (meter)
Trakt 1	A ²⁾	27,306	–	187
	B ³⁾	20,570	24,7	122
	C ⁴⁾	22,180	18,8	136
	D ⁵⁾	18,75	31,3	122
Trakt 2	A	54,875	–	227
	B	43,3	20,0	162
	C	41,76	19,3	160
	D	41,88	20,9	167

²⁾ Körsträckan från den verkliga skotningen.

³⁾ Körsträckan från optimeringen (Bestway) med placering av överfarter och avlägg i enlighet med den verkliga skotningens utförande.

⁴⁾ Körsträckan från optimeringen med alternativa placeringar av överfarter och avlägg gentemot den verkliga skotarens utförande.

⁵⁾ Körsträckan från optimeringen på den verkliga skotarens körvägsnät.

Genom att jämföra *Scenario A och B* får man den mest relevanta jämförelsen att ställa mot andra studier av Bestway. Detta ger Bestway förutsättningarna som funnits vid den verkliga avverkningen.

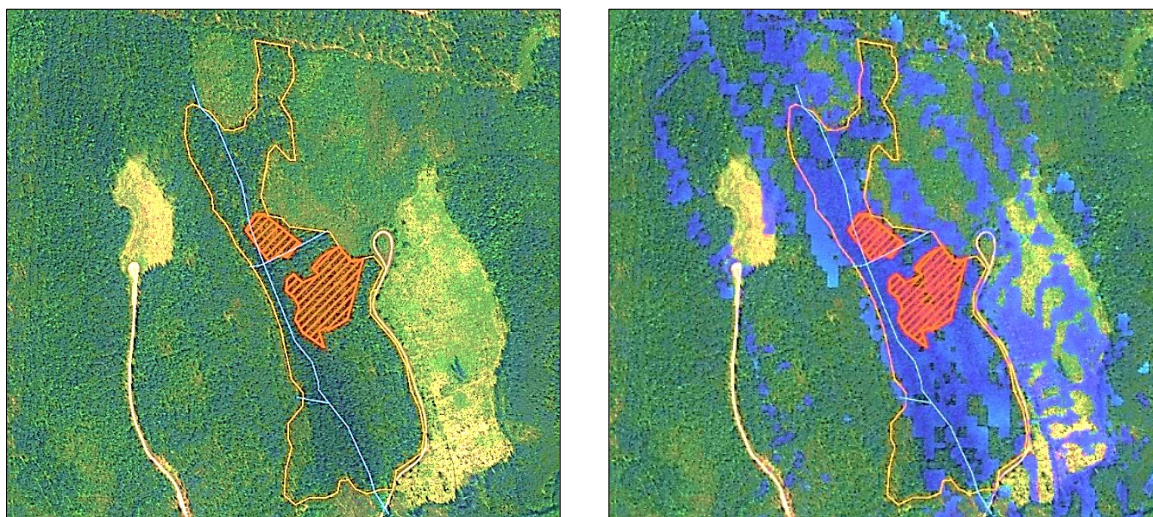
FALLSTUDIE 3 – ORSA BESPARINGSSKOG OCH SCA SKOG

Orsa Besparingsskog

Trakten Källa 1 från Orsa Besparingsskog används som ett exempel för att illustrera hur planeringen och Bestway-resultatet blev.

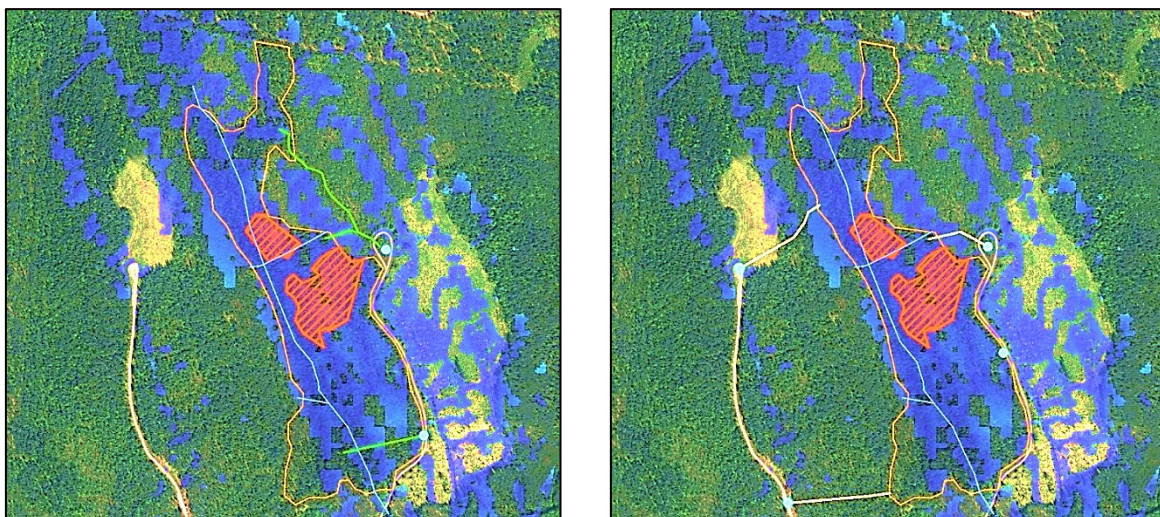
Trakten

I Figur 11 är traktens förutsättningar beskrivna med ett ortofoto som bakgrundsbild. Traktgräns, hänsynsytor som ej skall avverkas samt ett dikesystem ses i den vänstra bilden. Till höger ses samma information med en markfuktighetskarta. Det var underlaget som traktplaneraren använde till sin förplanering av trakten.



Figur 11.
Källa 1 med hänsynsytor (vänster) och med markfuktighetskarta (höger).

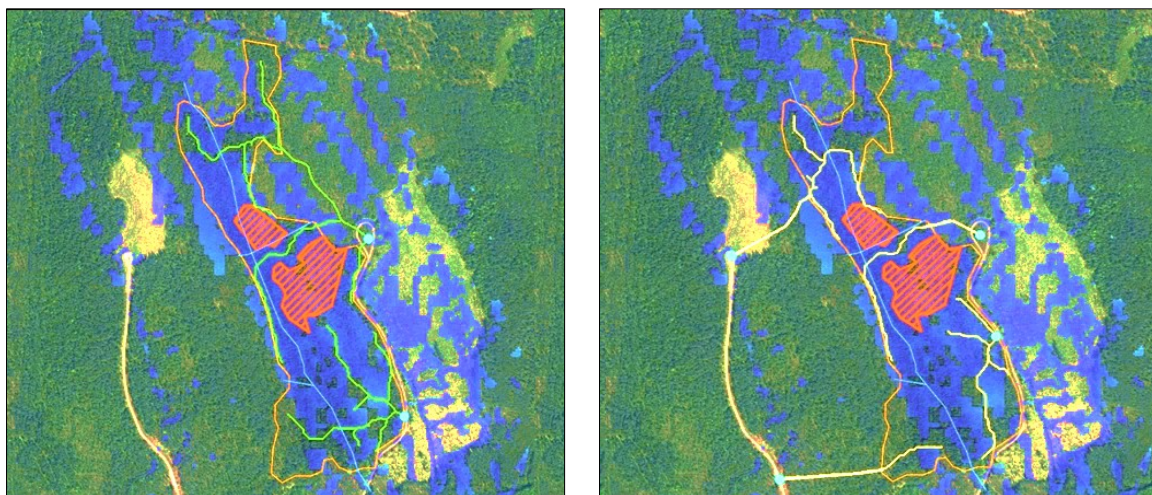
Under förplaneringen som gjordes i fält placerade planeraren ut avlägg och basvägar på trakten med stöd av information från det digitala underlaget och från fältbesöket. Resultatet blev enligt den vänstra bilden i (Figur 12) och namnges ”*Scenario A*”. Vid inledande diskussion av Bestway och traktvalen, mellan planerarna maskinförarna och Skogforsk föreslogs den västra skogsbilvägen som ses i bilderna som alternativ väg att placera avlägg vid. Markfuktighetskartan visar mindre fuktig mark från traktgränsen till den vägen varför den kunde vara ett reellt alternativ. Alternativa avlägg och basvägar kompletterades då till planeringen och benämndes ”*Scenario B*”, vilket ses i den högra bilden i (Figur 12).



Figur 12.

Förslag på avlägg och basvägar som indata till Bestway. Scenario A är vänster bild och scenario B är högra bilden. Avlägg är markerade som blå prickar och basvägdragningar som streck.

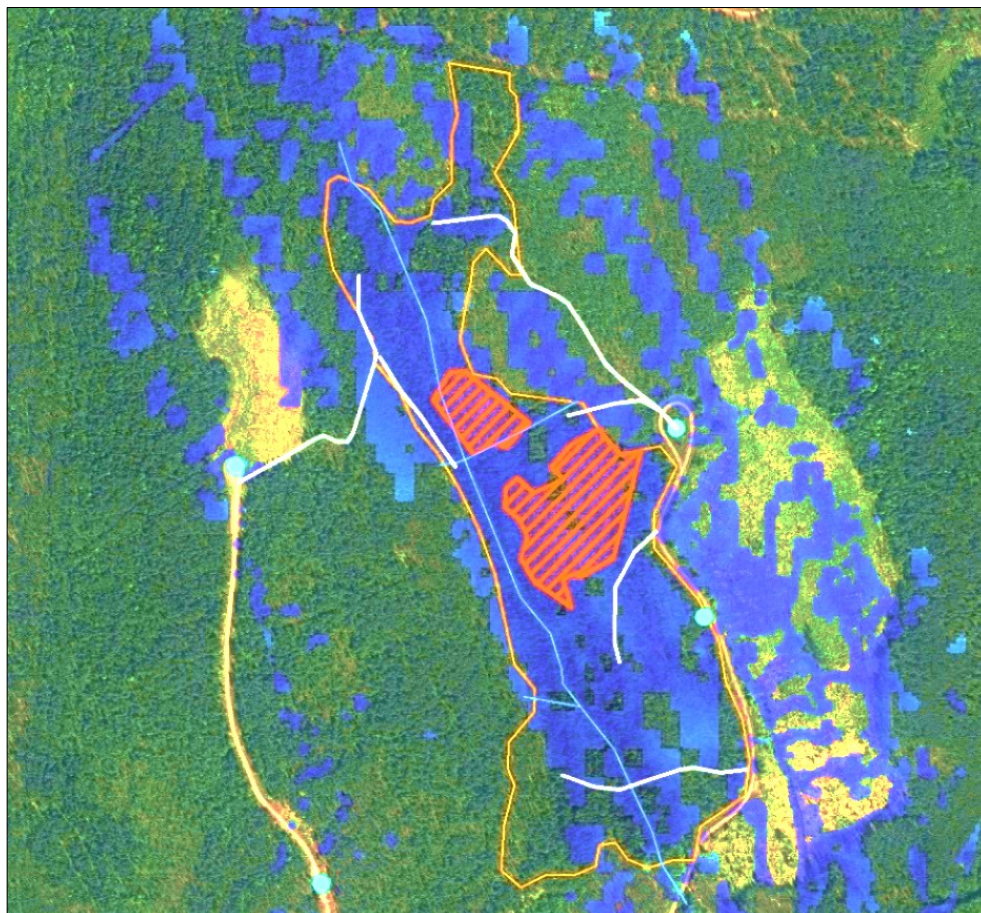
De två scenarierna med olika placering av avlägg och basvägar matades in i Bestway och optimeringen kördes för att generera fram optimeringens basvägsförslag. Resultaten ses i (Figur 13) med *Scenario A* till vänster och *Scenario B* till höger och är som bilderna visar dragna mer omfattande än planerarens förslag. Det kan noteras hur optimeringen valt att använda de två västliga avläggen tillkomna i *Scenario B* trots att de inte är belägna direkt intill trakten. Avståndet samt körvägarna över torrare mark tycks optimeringen föredra.



Figur 13.

Bestways förslag på basvägar för Scenario A till vänster och Scenario B till höger.

Det verkliga utförandet blev enligt Figur 14 d.v.s. en kompromiss mellan de två scenarierna.



Figur 14.
Verkligt utförande av trakten.

Tabell 3 visar de totala körsträckorna för respektive scenario och det verkliga utförandet och det går att urskilja att de båda optimerade scenarierna har uppskattat en kortare total körsträcka än vad det verkliga utförandets utfall blev.

Tabell 3.
Jämförelser av total körsträcka.

	Total körsträcka, skotare (km)
Scenario A	119
Scenario B	111
Verkligt utförande	199

Erfarenheter

Maskinlaget hos Orsa Besparingsskog noterade lutningen som ett viktigt förbättringsområde för Bestway-analysen. Bestway lade gärna basstråken i ett för kraftigt sidolut, vilket orsakade problem för skotaren som då inte skulle kunna arbeta effektivt. Detta föranledde att maskinlaget på uppprepade ställen på de olika försökstrakterna inte kunde följa Bestway-förslaget utan var tvungna att anpassa basstråken bättre efter lutningen.

Vidare nämndes relativt tidigt under studien att avläggen utförda som punkter skapade problem i de fall som skogsbilvägarna där avläggen skulle placeras, tangerade eller var dragna genom trakterna. Bestway drog i dessa fall basvägarna till varje punkt, vilket kunde skapa basvägar som var dragna långa sträckor längs med skogsbilvägarna endast några meter från dem. Eftersom avlägget inte utgörs av en punkt utan i själva verket upptar en större yta blev det då fel när Bestway skapade basvägar som gick längsmed och förbi avlägget i vissa fall för att nå punkten. Detta åtgärdades dock snabbt genom att tillåta Bestway att använda hela vägsträckan som avlägg. Detta var inte heller ett helt realistiskt skotningsarbete, men på det viset kunde det urskiljas vart virket från traktdelarna längre från väg skulle dras effektivt och sedan lades basvägarna upp efter detta.

Intervjuer

De intervjuade personerna i maskinlagen, planerarna och drivningsledarna på Orsa Besparingsskog och SCA som använt planeringsunderlag med föreslagna huvudbasvägar upplever att förslagen var till god hjälp vid avverkningsarbetet men att kopplingen mellan teoretisk modellering och praktiskt avverkningsarbete kan utvecklas vidare.

Att Bestway i första steget bör utföras före avverkningsplaneringen i fält var något som nämndes samstämmigt av maskinförare och planerare på de båda företagen. Förslagen verifieras under fältarbetet med och eventuell omplanering kan då genomföras vid eller efter fältplanering. ”Ju mer datorerna kan förbereda, ju bättre måste det vara” var ett citat som uppkom under diskussion. Maskinlagen beskriver att de först följde vägalternativen blint, men efter hand märkte att körningen behövde justeras efter terrängförutsättningarna.

Beslutsstödet fokus bedömdes under studien till att vara att undvika mer omfattande svårigheter och hinder på trakten, d.v.s. att hitta rätt basstråk på trakterna. Om basstråken avgränsades att omfatta lämpliga passager över blöta och fuktiga områden samt sträckningar förbi hinder behövdes inte fler mindre körvägar ritas ut var bedömningen. Med placeringen av basstråken faller sig arbetet med övriga körvägar naturligt menade maskinförarna.

Kartmaterialet var dock inte komplett. På en av studietrakterna fanns många diken på ställen som inte visades i något av kartsnitten. Detta skapade problem för maskinförarna då de skulle planera körningen eftersom de föreslagna dragningarna av basvägar inte gick att följa överallt. Ett behov att göra en ny optimering med nya förutsättningar konstaterades i detta och liknande lägen. När det gäller just behandling av vattendrag och i synnerhet överfarter över dessa menade maskinförarna att fler överfarter över samma dike eller vattendrag som blir mindre belastade är att föredra jämfört med att ha en enskild överfart som blir högt belastad av virkesvolym.

Fokusområden för vidare utveckling:

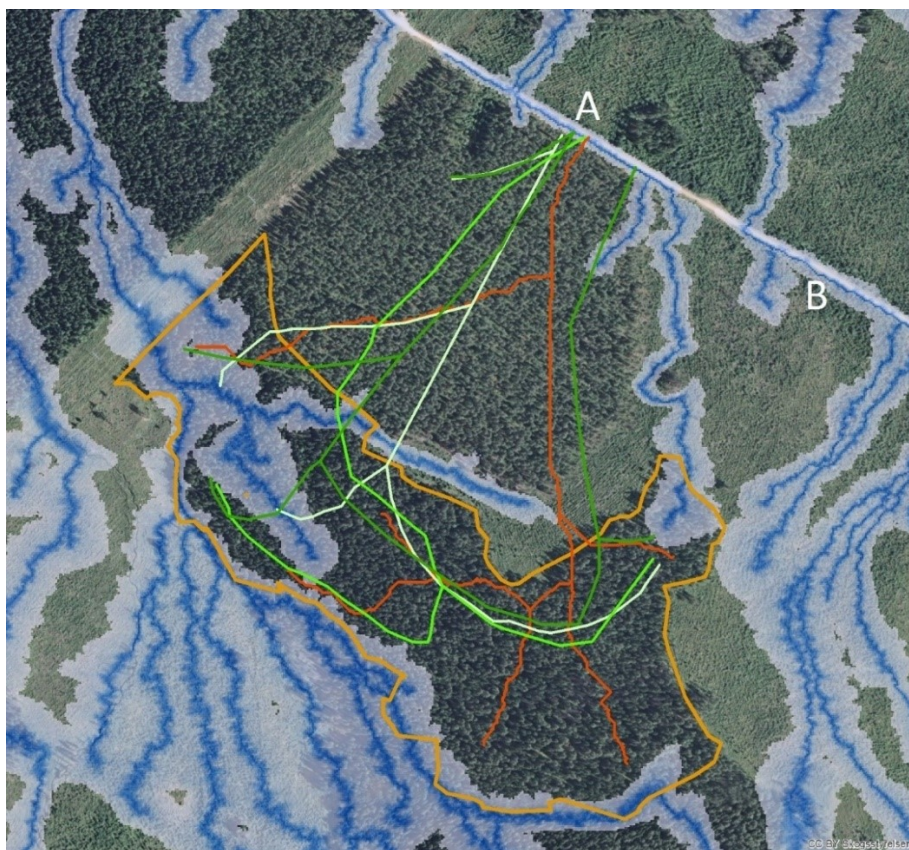
- Fokusera på hur virkesvolymen längst från bilväg skall strömma till avlägg. Får man virkesvolymen längs ifrån avlägg effektivt till avlägg, så kommer volymen närmare avlägg att färdas ut effektivt på samma vägar också.
- Huvudstråket är det klart viktigaste hjälpmedlet! Inte ”fiskbenen” (det man syftade på var de mindre och kortare vägarna som optimeringen genererade ut från huvudstråket).
- Viktigt att basvägarna inte läggs på ”skrå” i lutningar under för långa sträckor. Helst ska framryckning mot en höjd göras med maskinens front och sedan görs transporten på höjdryggen. (Detta menades ej som allmängiltigt men maskinlagen menade att detta kunde utvecklas i Bestway).
- Erfarenheter från skördarföraren borde kunna användas i optimeringen.
- Huvudbudskapet var att basvägarna måste renodlas mer, färre vägar bör visas, men de ska vara placerade så rätt som möjligt.

Fältdag med planerare hos SCA

Skogforsk medverkade vid SCA Skogs fältdag för sina planerare hösten 2015. Två trakter med stora utmaningar avseende naturvärden och bärighet analyserades gruppvis i fält. Skogforsk fick information om avlägg och vissa avgränsningar före fältdagen och genomförde som förplanering några alternativa Bestway planeringar per trakt. SCA:s planeringsspecialister hade inte tillgång till Bestway förslagen vid sin planering.

I Figur 15 kan SCA:s planeringsspecialisters förslag på huvudbasstråk jämföras med den förplanering som genomfördes med Bestway. De tre linjerna med gröna nyanser visar planerargruppernas olika förslag på basvägsdragning medan den röda visar Bestways förslag.

Jämförelsen mellan planerarnas förslag och Bestways förslag visar på hur verktyget skapar eftertanke genom att ange vägförslag som kanske inte annars skulle övervägts, i detta fallet genom att förlägga basvägen runt ett blött område enligt markfuktighetskartan. Möjligheten att genomföra planering med olika scenarier avseende avläggspunkter diskuterades också under dagen då Bestway-analysen visade att skotningsavståndet kunde minskas med upp till tjugo procent genom att dra en basväg genom en ungskog ut till *Avlägg B* för att använda *Avlägg A* (Figur 15). Detta blev omdiskuterat på grund av avvägningen att göra en basväg i ungskogen och eventuellt orsaka produktionsförluster, ställt mot möjligheten att minska drivningskostnaden och kanske belastningen på känsliga delar i ett bestånd, se (Tabell 4). Dessa analyser kunde dock endast göras med en dator efter eller före fältbesöket, men om avlägget varit möjligt att justera direkt i fält och ett nytt förslag beräknats med det kunde olika lokala hinder tagits med allt eftersom planeringen färdigställdes. Då hade den färdigplanerade trakten haft ett funktionellt förslag på basvägar samt beräknade nyckeltal klart när fältjobbet avslutades.



Figur 15.

SCA planeringsdag trakt väst. Den röda linjen var Bestways förslag som sänkte skotningsavståndet med cirka tjugo procent men som medförde att basvägen behövde dras genom en ungskog. De tre linjerna med gröna nyanser var planerargruppernas olika förslag.

Tabell 4.
Olika medelskotningsavstånd vid olika placering av avlägg.

	Trakt väst, olika alt.	Antal avlägg	Skotningsavstånd (meter)
(A)	Avlägg i norr, en infart till hygget.	1	804
(A+B)	Två avlägg (en av basvägarna genom ungskog).	2	618

Demonstrationsverktyg

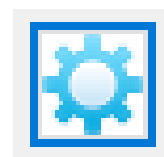
Utveckling av verktyget skedde i C# för gränssnitt och C++ för beräkningar med GDAL⁶⁾-bibliotek för utsnitt av trakter som ett steg i indata-prepareringen inne i verktyget.

En del av demonstrationsverktyget är en separat mapp där generella indata över hela demonstrationsområdet lagras i rasterformat. Det inkluderar höjddata (grid 2+), markfuktighetskartor, virkesvolym samt generella hänsynsområden (NoGo-områden) som exempelvis naturreservat, nyckelbiotoper och kända fornlämningar. En separat indatahantering begränsar nyttjandet av demonstrationsverktyget. I en senare möjlig implementering ute på skogsföretag kan detta ersättas med tillgång till företagets egna databaser. Verktyget (Figur 16) har en inläsning för indata (uppe till vänster i Figur 16 där det är obligatoriskt att ange traktgräns samt avlägg. Därefter finns möjlighet att komplettera med egna tillkommande hänsynsområden och tvingande vägar.

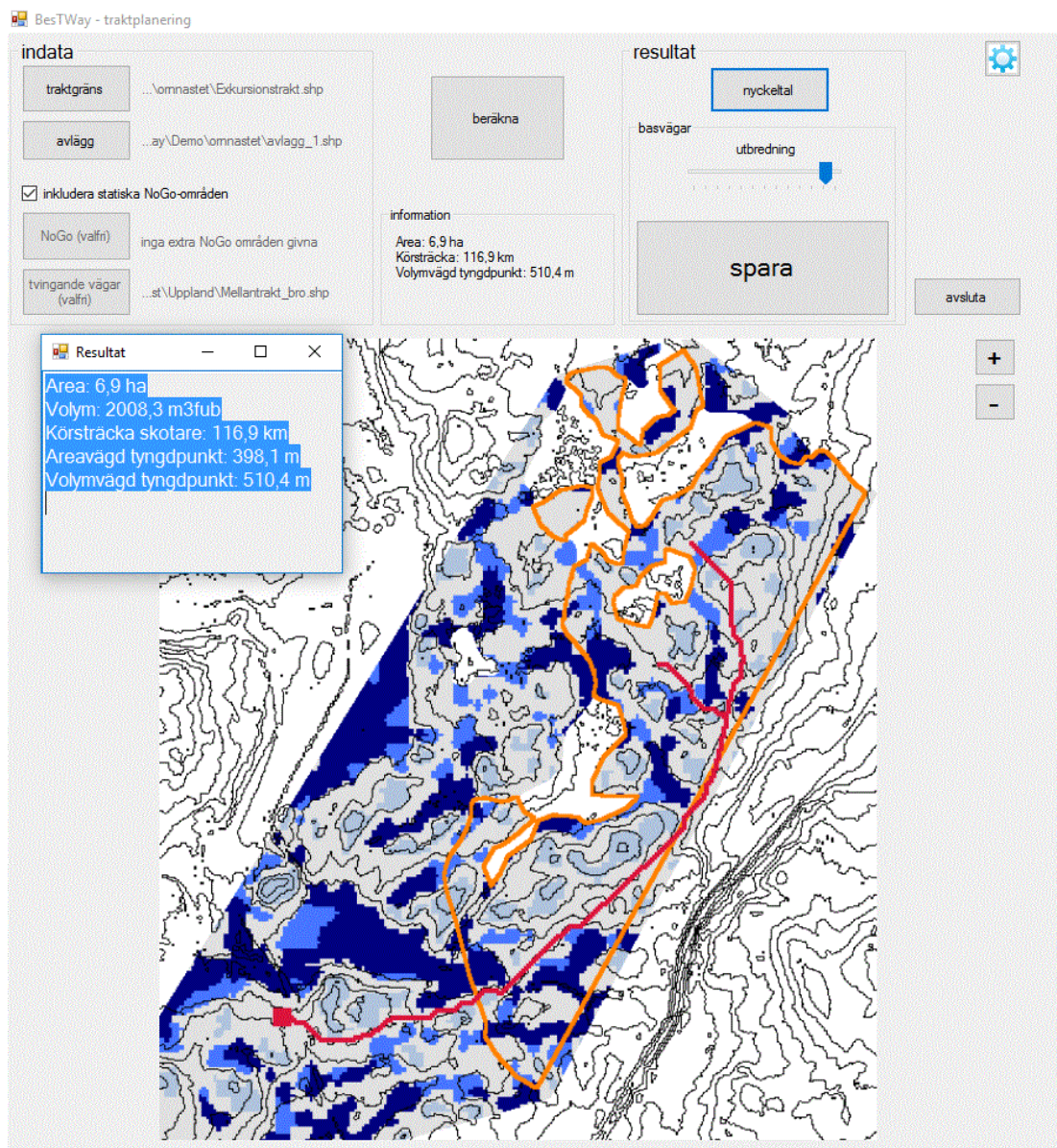
Därefter startar operatören en beräkning ("beräkna") och inom kort ritas traktgränserna upp med markfuktighetskartan och höjdkurvor som bakgrund. Utbredningen för vägförslaget från Bestway kan justeras via en glidsskena ("utbredning"). Vägförslaget (röd linje i Figur 15 med vald utbredning kan sedan sparas.

Nyckeltal presenteras som ett resultat och summerar hela körningen. De påverkas inte av förändringar i utbredningen av vägförslaget då nyckeltalen inkluderar hela den planerade skotningen av trakten.

Inställningsknappen uppe till höger i verktyget, öppnar en egen meny, (Figur 17). Det ska finnas möjlighet att ändra skotningens begränsningar rörande branthet och lutning. Mer skotarspecifika inställningar rörande körhastighet och övriga skötardata kan justeras. Standardinställningarna är generella erfarenheter från Skogforsk.



⁶⁾ <http://www.gdal.org/>



Figur 16.
Demonstrationsverktyg Bestway.

inställningar

lutning i sidled

max tillåten (%) 30

basväg max (%) 15

känslighet

låg hög

branthet i korraktionen

max tillåten (%) 30

basväg max (%) 15

känslighet

låg hög

körhastighet skotare

tomköring (m/s) 0,88

fullastad köring (m/s) 0,73

kran i arbetsläge (m/s) 0,42

övrigt skotardata

lastningstid (min/m³) 1,43

lossningstid (min/lass) 22,50

lasskapacitet (m³) 20,00

kranarm längd (m) 10,00

återställ standardinställningar

OK

Avbryt

Figur 17.
Inställningar i Bestway-verktyget

Diskussion och slutsats

INDATA

Indata till Bestway inkluderar både nationellt tillgängliga och egna data. Till de nationellt tillgängliga där det inte finns någon större variation hör höjddata och virkesvolymsskattningar. Höjddata är Lantmäteriets grid 2+ och virkesvolymsskattningar är antingen Skogsstyrelsens Skogliga grunddata eller företagens egna skattningar. För att beskriva variationen i bestånden fungerar bägge bra. Viktigt att notera är dock att de skogliga fjärranalys-skattningarna ofta redovisas i skogskubikmeter medan avverkad volym ofta mäts i fast volym. Det måste tas hänsyn till vid jämförelser mot planerad eller avverkad virkesvolym. Skogliga grunddatas aktualitet är från det år som laserskanningen genomfördes. Ännu har ingen framräkning skett av de skogliga värdena, vilket gör att de inte går att använda direkt som ett bra mått över virkesvolymen i beståndet. Däremot kan det antas att den virkesvolymvariation som fanns över trakten för några år sedan kvarstår och det nyttjas i Bestway för lämpligast vägförslag.

När det kommer till markfuktighetskartan finns lite olika varianter som kan påverka resultatet i Bestway. Utbredningen av de olika fuktklasserna varierar och det är speciellt viktigt för användare att känna till vilken variant som de har tillgång till. Vid stor utbredning av fuktklasserna påverkas Bestway förslaget mycket och försöker undvika dessa områden.

Stor påverkan får även hänsynsskikten och hur de hanteras i de så kallade NoGo-områdena. En stor mängd hänsynssikt finns tillgängliga från myndigheter och ibland finns företagens egna skikt. Tolkningen av dem avgör storleken på NoGo-områdena och det finns anledning att använda dem på ett klokt sätt. Det är relativt enkelt vad gäller exempelvis naturreservat och nyckelbiotoper, men mer komplicerat i hanteringen av exempel som vandringsleder och Natura2000-områden eller buffertzoner till fornminnesregistrets olika skikt och lämningstyper. Huruvida alla de ska betraktas som NoGo-områden och exkluderas i Bestway kräver olika tolkningar. Det krävs en genomgång av de ingående hänsynsskikten som ibland måste delas upp i var det är acceptabelt att köra eller om det är NoGo-områden.

För egna indata som avlägg eller tvingande vägar påverkas Bestway mycket av avläggets placering. Ligger avläggen felaktigt kan hela analysen generera oanvändbara resultat. Verktöget förslår drivningsvägar till avlägget och blir det placerat i en brant sluttning dras vägarna dit oavsett om det är lämpligt eller inte. Verktöget föreslår inte alternativa avläggsplatser, däremot är det mycket lämpligt att ta fram olika avläggsalternativ att jämföra. Genom att testa detta under drivningsplanering eller produktionsplanering kan nya alternativ för väg både inom trakten och till trakten tas fram och det finns en möjlighet mäta och jämföra alternativ för kortare skotningssträckor.

Hänsyn tas inte heller till andra markägare utan om passering inte får ske över vissa områden kan de behövas anges som NoGo-områden eller genom att en tvingande väg placeras ut. Tvingande vägar har ett mycket lågt motstånd och kommer i praktiken alltid väljas av verktyget. Det passar bra om basvägar behöver dras över annans mark. För passage över fuktiga områden kommer ofta den kortaste sträckan väljas av verktyget, men finns bättre kunskap om lämplig passage bör det läggas in som tvingande väg av operatören.

MODELLUTVECKLING

Modellutvecklingen gjordes stegvis under de tre fallstudierna. Att från en initial teoretisk modell som kunde åstadkomma vägdragning på en kostnadsindexyta få modellen att kunna användas i praktiken krävde olika tester och iterativ användning av modellen i flera olika sammanhang. Genom de tre fallstudiernas olika upplägg kunde detta genomföras och olika delar av optimeringsmodellen kunde justeras och förbättras stegvis.

I *Fallstudie 1* testades sammankopplingen av vägnätsoptimeringen (SPORRE) och optimeringsmodellen av virke på det genererade vägnätet. Integration av markfuktighetskartan som då precis hade börjat att testas i Sverige var en stor del i arbetet. Att minska körning på blöt och fuktig mark var en central del i optimeringen och genom markfuktighetskartan kunde detta undvikas. Stegvis skapades förståelse för hur markfuktigheten skulle viktas för det var inte rimligt att undvika markfuktighetskartans områden helt då där finns virke att hämta och en stor del av svensk skogsmark trots allt är fuktig. Optimeringen skulle istället förlägga stora flöden och frekvent använda vägar i förhållande till markfuktighetskartan så att belastningen på dess områden blev så liten som möjligt. Lösningen blev att optimeringen straffades om den valde sträckningar genom markfuktighetskartan och därför premierades andra vägdragningar även om de visade sig vara längre. Dock uppkommer en brytpunkt mot den alternativa vägen när för lång extra körning gjorts då sträckningen istället görs genom markfuktighetskartans område. Att finna dessa relativa värden för vad skogsbruket anser vara rimlig extra körning för att undvika att bygga bro eller göra andra åtgärder för att kunna ta sig fram genom blöta och fuktiga områden var en process med dialog mellan optimerare, forskare, skogstjänstemän och maskinförare.

Efter *Fallstudie 1* då vägnätverket och optimeringen av virkeskörningen gjorts mer robust stod tester av nyckeltalen som nästa utvecklingssteg. I *Fallstudie 2* lades fokus på beräkning av körsträckor, medelskotningsavstånd och tidsåtgång och kalibrering av dessa för att skapa ett komplett beslutstöd med såväl vägdragning som nyckeltal att ta ställning till för maskinförare och tjänstemän.

Två trakter som avverkats användes i studien och det verkliga utfallet för körsträcka kunde beräknas med hjälp av GPS-logg. Markfuktighetskartans områden undantogs från att beräknas utan de utgjorde helt enkelt områden som lämnades helt orörda att köra i för optimeringen. Dock var försöks-trakternas fuktiga och blöta områden relativt små och virket däri kunde nås från utkanterna områdena, vilket gjorde att virkesvolymen på trakten förblev oförändrad mot verkligheten. I och med att avverkningen hade gjorts kunde optimeringens utfall ställas mot de verkliga vägdragningarna för att utvärdera hur om optimeringen valt rimliga sträckningar för maskinerna. Dessutom kunde vägnätet som skotaren använt i verkligheten användas som underlag till optimeringen, vilket genererade en ett resultat för endast själva ruttkörningen.

Efter *Fallstudie 1 och 2* fanns en optimering som klarade av att hantera teoretisk skotning. Koppling mot praktiken hade varit underordnat och blev därför fokusområde för den tredje fallstudien när tester skulle göras i praktiken. Genom möten med maskinförare och tjänstemän där Bestway introducerades och en följande kontinuerlig dialog genom projektet kunde praktiska omständigheter och hinder snappas upp t.ex. hur mycket sidolut som var rimligt för en fullastad skotare att köra i. Genom att Bestway först användes tillsammans med planerare och att utfallet från optimeringen sedan användes vid avverkningen kunde en uppfattning om optimeringens användande genom avverkningsprocessen erhållas. Det var förvisso en konstlad situation med extra arbetsmoment där planeraren var tvungen att exportera olika geografiska data med olika alternativ för optimering och sedan få tillbaka nytt optimeringarna som olika alternativ att ta ställning till. Trots dessa extra arbetsmoment tyckte deltagarna att det fanns potential i att optimera skotningen, vilket belyser det faktum att denna typ av beslutsstöd är något som praktiken ser som ett möjligt hjälpmedel i framtiden.

UTVÄRDERING

Utvärdering av Bestway har genomförts genom att jämföra förslag till skotningssträckor mot verkliga utfall, men också tillsammans med planerare och maskinlag för att bedöma den praktiska nyttan. Sammantaget pekar detta på goda förutsättningar i att utveckla utformningen av basvägarna och en möjlighet att korta skotningsavstånden. Att utvärdera beslutsstöd, som ska ge förslag till planerare och maskinlag, är svårt om verkligt utfall ska mätas mot optimeringsresultat. Kart- och höjddata fångar inte verkligheten exakt och praktiska krav under utförandet ger avvikelser från optimalt vägval. Det kan handla om blockig mark eller mindre surhål som inte syns i kart-underlag.

En annan svårighet i utvärderingen är att liknande underlag inte har funnits. Det är nyligen som vissa företag markerar basvägar ute på avverkningen och det är sällan eller aldrig olika vägalternativ jämförs mot varandra. Arbetsmomentet med att jämföra olika basvägsförslag är nytt, vilket försvårar utvärderingen. Samtidigt upplevs underlagen som spännande att testa av såväl tjänstemän som maskinförare, vilket har underlättat utvecklingsarbetet.

I huvudsak genomfördes intervjuer med maskinlag som uppföljning genom fallstudierna. Genom kontinuerliga intervjuer och uppföljningar under fallstudiernas pågående var det möjligt att göra anpassningar och förändringar av Bestway för att nå ett så anpassat och fungerande verktyg som möjligt. Det praktiska utfallet av körvägar utvärderades med hjälp av GPS-loggning i *Fallstudie 2 och 3*. Genom loggade spår skulle vägdragningarnas placering utvärderas, dock fallerade GPS-funktionaliteten under *Fallstudie 3* på SCA:s trakter och GPS-loggar samlades ej in under avverkning och skotning. På Orsa Besparingsskogs trakter samlades dock GPS-loggar in, men alla trakters loggar var ej kompletta. Det saknades delar av GPS-loggen på flera trakter. Detta ledde till att materialet blev osäkert och ej komplett, vilket föranledde att en mer objektiv analys av körvägarna fick framskjutas. I stället analyserades vägdragningen mer ingående gemensamt med maskinförarna på Orsa Besparingsskog och de fick trakterna presenterade i virtuell 3D-miljö för att kunna beskriva mer ingående hur de resonerat kring vägdragningarna och Bestways förslag.

VERKTYGET BESTWAY

Det utvecklade verktyget har ambitionen att vara lättanvänt med mycket förbestämt indata och med några få knappar och reglage att hantera. Verktyget är inte integrerat i företagets produktionssystem, vilket är en förutsättning för operativ användning, men för demonstrationer är både användningen av egna indata och export av resultatet enkelt och goda förutsättningar finns för lyckade demonstrationer.

Vid den summering av virkesvolymen som redovisas i nyckeltalen per trakt exkluderas virkesvolymen för NoGo-områden. Det, tillsammans med att fjärranalysskattningen inte alltid räknas fram, påverkar den totala virkesvolymen som skotas och redovisas. I själva verket sker ofta viss avverkning i hänsynsområden och ska så göra speciellt kring fornminnen.

Tester under utvecklingsarbetet indikerar på att även lite större trakter går relativt snabbt att köra, vilket är en förutsättning speciellt om några olika avläggsalternativ ska jämföras.

Verktygets inställningar rörande skotaregenskaper kan justeras exempelvis rörande lastvikt och körhastighet och på så sätt användas för att utvärdera olika maskiner mot varandra. Dessa inställningar bör justeras för respektive område den används med kunskap om tillgänglig skotarkapacitet.

Bestway-verktyget ger uppskattade förslag på huvudbasvägar och olika alternativa scenarier kan ställas mot varandra för bedömning av påverkan t.ex. relativt skotningsavstånd. Planerare och avverkningslag måste dock vara medvetna om modellens begränsningar och anpassa praktiskt drivningsarbete efter terräng och väderförutsättningar. Under *Fallstudie 3* vittnade maskinlagen om att man först följde förslagen blint men efterhand insåg att de måste justera vägarna efter t.ex. ytstruktur och skillnader mellan vattenkarta och verklighet.

Slutsatser

- Bestway ger ett bra stöd för beräkning av förslag till huvudbasvägar redan i förplaneringsfasen på kontoret. Det är viktigt att vara noggrann vid placering av avläggsförslag.
- Bestway erbjuder möjligheter till effektiv planering via scenarioanalys (ett eller flera avlägg, bygga eller inte bygga överfart, placering av överfart), relativa nyckeltal mellan olika alternativ kan användas. Med hänsyn till indata ska dock nyckeltalen användas till relativa och inte absoluta jämförelser. Scenarioanalys är dock ett nytt moment i planeringsprocessen, vilket gör att den kan ta tid att föra in och ge stor nytta först på sikt. Den öppnar upp för nya tankar och frågeställningar rörande effektiv drivning.
- Bestway ger bra grundförslag för huvudbasstråk enligt de intervjuade planerarna och avverkningslagen men man kan inte köra blint efter dem då detaljer som t.ex. större stenar och fuktiga områden som inte fångats upp i markfuktighetskartan måste hanteras.
- Fuktiga partier undviks på ett bra sätt när de finns med i markfuktighetskartan.
- Fortsatt utvärdering under operativa förhållanden är viktigt för att fånga in olika erfarenheter.
- Sidolutning måste tas större hänsyn till – detta finns med i modellen. Fler tester behövs dock för att bestämma lämplig nivå på hanterbar sidlutning.
- Bestway behöver utvecklad för bättre precision i beräkning av stickvägar och tidsåtgång.
- Utvecklat verktyg visar potentialen för lyckade demonstrationer och möjlighet till implementering i företagets produktionssystem. Analysen går tillräckligt snabbt och det är få moment för operatören att genomföra.

Referenser

- Berg, R., Bergkvist, I., Lindén, M., Lomander, A., Ring, E. & Simonsson, P. 2010. Förslag till en gemensam policy angående körskador på skogsmark för svenskt skogsbruk. Uppsala: Skogforsk.
- Bergkvist, I., Friberg, G., Mohtashami, S. & Sonesson, J. 2014. STIG-projektet 2010–2014. Arbetsrapport 818–2014. Skogforsk. Uppsala.
- Friberg, G. (2014). En analysmetod för att optimera skotning mot minimerad körsträcka och minimerad påverkan på mark och vatten. SLU, Institutionen för skogens produkter. Uppsala.
- Friberg, G. Bergkvist, I 2016. Så påverkar arbetsrutiner och markfuktighetskartor körskador i skogsbruket. Arbetsrapport 904–2016. Skogforsk. Uppsala.
- Flisberg, P., Forsberg, M. & Rönnkvist, M. 2007. Optimization based planning tools for routing of forwarders at harvest areas. Canadian Journal of forest research 37(11), 2153–2163.
- Jönsson, P., Westlund, K., Flisberg, P. & Rönnqvist, M. 2011. Skotningsplanering av rundvirke, GROT och stubbar. Arbetsrapport 753. Skogforsk.
- Lundgren, J., Rönnqvist, M. & Värbrand, P 2010. Optimization. ISBN: 9789144053080. Förlag: Studentlitteratur AB.
- Willén, E. & Andersson, G. 2015. Drivningsplanering en jämförelse mellan skogs-företag. Arbetsrapport 885. Skogforsk.

Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2016

År 2016

- Nr 892 Ågren, K., Hannrup, B., Jonsson, R., Jönsson, P., Lundström, H. och Nordström, M. Utvärdering av dimensionsmätning och förekomst av kapsprickor vid avverkning med Komatsu X19. – Evaluation of measurement quality and frequency of bucking splits in harvesting with the Komatsu X19 Harwarder. 21 s.
- Nr 893 Ågren, K., Möller, J. J. och Bhuiyan, N. 2016. Utveckling av en standardiserad metod för kalibrering av volymsbestämning vid avverkning med flerträdshanterande skördaraggregat. – Development of a standardised method for calibrating volume measurements when using a multi-tree handling harvester head. 27 s.
- Nr 894 Almqvist, C. & Rosenberg, O. 2016. Bekämpning av grankotterost (*Thekopsora areolata*) med fungicider – Försök utförda 2014 och 2015. – Control of cherry spruce rust infection (*Thekopsora areolata*) by use of fungicides – Trials performed in 2014 and 2015. 10 s.
- Nr 895 Westin, J., Helmersson, A. & Stener, L.-G. 2014. Förädling av lärk i Sverige. – Kunskapsläge och material. Genetic improvement of larch in Sweden – knowledge status and seed materials. 55 s.
- Nr 896 Mohtashami, S., Nordlund, S., Krook, M., Bergkvist, I., Ring, E. & Högbom, L. 2016. Körskador vid slutavverkning – en inventeringsstudie i Mälardalen. 16 s.
- Nr 897 von Hofsten, H. & Eliasson, L. 2016. Skotning av grot och rundved med en kombiskotare eller med två dedikerade skotare. 8 s.
- Nr 898 Rytter, L. & Mc Carthy, R. 2016. – Uthållig produktion av hybridasp efter skörd – Slutrapport 2016 för Energimyndighetens projekt 30346. - Sustainable production of hybrid aspen after harvest – Final Report 2016 from Swedish Energy Agency Project 30346.
- Nr 899 Bhuiyan, N., Möller, J.J., Hannrup, B. & Arlinger, J. 2016. Automatisk gallringsuppföljning. – Arealberäkning samt registrering av kranvinkel för identifiering av stickvägsträd och beräkning av gallringskvot – Automatic follow-up of thinning.- Stand area estimation and use of crane angle data to identify strip road trees and calculate thinning quotient.. 47 s.
- Nr 900 Pettersson, F. 2016. Effects of type of thinning and strip road distance on timber production and economy in the Scots pine field experiment at Kolfallet. Results after two thinnings and a 20-year study period.
- Nr 901 Eliasson, L., Mohtasami, S. & Eriksson, A. 2016. Analys av ett högproduktivt flissystem – Analysis of factors affecting a high productive chip supply system. 20 s.
- Nr 902 Enström, J., Asmomp, V., Davidsson, A., Johansson, F., Jönsson, P. & Mohtashami, S. 2016. Transportsystemet Inlandsbanan – The Inlandsbanan transport system. 50 s.
- Nr 903 Klingberg, A., Persson, T. & Sundblad, L.G. 2016. Projektrapport – Fröskörd från tallfröplantage T2 Alvik – Effekt av inkorsning på planteringsresultatet i fält (projekt nr 244). – Project report Harvests from the T2 Alvik orchard – Effect of cross-pollination on operational planting outcome.
- Nr 904 Friberg, G. & Bergkvist, I. 2016. Så påverkar arbetsrutiner och markfuktighetskartor körskador i skogsbruket – How operational procedures and depth-to-water maps can reduce damage on soil and water and rutting in the Swedish forestry 28 s.
- Nr 905 Berlin, M. & Friberg, G. 2016. Proveniensval av Svartgran i Mellansverige. – Provenance choice of black spruce in central Sweden.. 22 s.

- Nr 906 Grönlund, Ö. 2016. Kontrollmätningens utformning vid chaufförers travmätning – Quality control procedure for stack measurement by truck drivers. 16 s.
- Nr 907 Björheden, R. 2016. Mekaniserad avverkning av grova lövträd - en litteraturstudie. – Mechanised harvesting of large-size hardwood trees – a literature study. 26 s.
- Nr 908 Bhuiyan, N., Hannrup, B., Nordström, M. & Larsolle, A. 2016. Beslutsstöd för stubbskörd.– Utveckling av ett prototypprogram för snabbare implementering i skogsbruket. – Decision-support tool for stump harvest. – Development of prototype software for faster implementation in forestry. 22 s.
- Nr 909 Brunberg, T. & Lundström, H. 2016. Tidsåtgång och bränsleåtgång vid användning av sortimentsgripen 2014-Evaluation of assortment grapple 2014 in terms of processing time and fuel consumption. 19 s.
- Nr 910 von Hofsten, H., Eliasson, L., Lundström, H. & Granlund, P. 2016. Prestation och bränsleförbrukning för två stora trumhuggar avsedda för flisning på terminaler. – Production and fuel consumption for two large drum chippers. 14 s.
- Nr 911 Jonsson, R., Jönsson, H. & Lundström 2016. Prestation och kostnader för slutavverkningsdrivare Komatsu X19 harwarder med snabbfäste. – Performance and cost in final felling for Komatsu X19. Harwarder with quick hitch. 40 s.
- Nr 912 Jonsson, R., Jönsson, P., Lundström, H. & Manner J. Prestation och kostnader för drivaren Komatsu X19 och tvåmaskinsystem med Komatsu 941 och 895 i grov slutavverkning – Performance and costs for the Komatsu X19 harwarder compared to Komatsu 941/895 harvester/forwarder in heavy-timber final felling. 38 s.
- Nr 913 Jönsson, P., Andersson, M., Hannrup, P., Henriksen, F. & Högdahl, A. 2016. Avverkningskapacitet för sågkedjor – en jämförande studie. – Cutting capacity of saw chains – a comparative study. 38 s.
- Nr 914 Skutin, S.G. & Bergqvist, M. 2016. Slutrapport – Rapport Bergtäkt. – Potentialer till kortare ledtider i miljöprövningen. – Final report of the 'Rock Quarry' project. Potential to shorten lead times in environmental assessment. 44 s.
- Nr 915 Ottosson, P., Andersson, D. & Fridh, L. 2016. Radarteknik för fukthaltsmätning – en förstudie. – Radar technology for measuring moisture content – a preliminary study. 23 s.
- Nr 916 Manner, J., Björheden, R., Jonsson, R., Jönsson, P. & Lundström, H. 2016. Prestation och drivningskostnad för drivarprototypen Komatsu X19 jämfört med ett konventionellt tvåmaskinsystem. – Productivity and logging costs of the harwarder prototype Komatsu X19 and a conventional CTL system. 27 s.
- Nr 917 Bergqvist, M., Björheden, R. & Eliasson, L. 2016. Kompakteringseffekter på skogsbilvägar. – Effect of compaction on forest roads. 24 s.
- Nr 918 Jönsson, P., Andersson, M., Hannrup, B., Henriksen, F. & Högdahl, A. 2016. Cutting capacity of saw chains – a comparative study. – Avverkningskapacitet för sågkedjor – en jämförande studie. Ss. 38.
- Nr 919 Asmoarp, V., Bergqvist, M., Frisk, M., Flisberg, Patrik & Rönqvist Mikael. VägRust på SCA. En analys av vägupprustningsbehov på SCA Skog AB:s tre sydliga förvaltningar. – Decreased cost of logistics with RoadOpt. An analysis of road upgrading needs on three southern holdings at SCA Skog AB. 35 s.

År 2017

- | | | |
|----|-----|--|
| Nr | 920 | Bergqvist, M., Bradley, A., Björheden, R. & Eliasson, L. 2017. Validering av STP (Surfacing Thickness Program) för svenska förhållanden – Validation of the Surfacing Thickness Program (STP) in Swedish conditions. 40 s. |
| Nr | 921 | Eriksson, B. & Sääf, M. 2017. Branschanalys-Ekonomiska prestationer i entreprenadskogsbruket. – Sector analysis: economic performance in contractor forestry. 31 s. |
| Nr | 922 | Söderberg, J., Willén, E. & Bohlin, J. 2017. Gallringspunkter från fjärranalys. – Identification of thinning needs using remote sensing. 14 s. |
| Nr | 923 | Mohtashami, S. & Willén, E. 2017. Kartering av fornminnen i skogen med fjärranalys. – Identifying cultural heritage sites in forest with remote sensing. 32 s. |
| Nr | 924 | Mörk, A., Englund, M. & Brunberg, T. 2017. Utvärdering av sortimentsgripen i simulator. – Evaluation of assortment grapple tested in a simulator. 17 s. |
| Nr | 925 | McCarthy, R., Johansson, F. & Bergqvist, I. 2017. Högläggning med tre- och fyra-uddigt rivhjul. – Mounding with three- and four-pointed mattock wheels 15 s. |
| Nr | 926 | Sonesson, J., Eliasson, L., Jacobson, S., Wallgren, M., Weslien, J. & Willhelmsson, L. 2017. Hyggesfritt skogsbruk på landskapsnivå. |
| Nr | 927 | Asmoarp, V. Davidsson, A., Flisberg, P. & Palmér Carl Henrik. 2017. Skogsbrukets möjlighet att utnyttja föreslagna BK4-vägar för 74-tonsfordon. – Evaluation of forestry sector potential to operate 74-tonne vehicles on the proposed BK4 roads. 28 s. |
| Nr | 928 | Friberg, G., Berlin M., Johannesson, T. & Eliasson, L. 2017. Lutnignsindex – beslutsstöd vid markberedning. – Slope index – decision support tool for scarification. |
| Nr | 929 | Arlinger, J., Möller, J.J., Eriksson, I. & Bhuiyan, N. 2017. Forestand – skördardata. – Standardisering av skördar-databaserade beskrivningar av uttag och kvarvarande skog efter gallring. |
| Nr | 930 | Flisberg, P., Frisk, M., Mikael, Rönnqvist, M. & Willén, E. 2017. Turordningsplanering – Sequencing in operational planning. 28 s. |
| Nr | 931 | Eliasson, L. & von Hofsten, H. 2017. Prestation och bränsleförbrukning för en stor mobil flishugg. – Albach 2000 Diamant. – Productivity and fuel consumption of a large mobile wood chipper – Albach 2000 Diamant. 16 s. |
| Nr | 932 | Englund, M., Mörk, A., Andersson, H. & Manner, J. 2017. Delautomatiserad skotarkran. – Utveckling och utvärdering i simulator. – Semi-automated forwarder crane. – Development and evaluation in a simulator. 28 s. |
| Nr | 933 | Jonsson, R., Mohtashami, S., Eliasson, L., Jönsson, P. och Ring, E. 2017. Risning av stickvägar i slutavverkning – Effekter på spårbildning, skotarens bränsleåtgång, körhastighet, helkroppsvibrationer och skördarprestation. – The effect of slash reinforcement of strip roads on rutting, forwarder's fuel consumption, driving speed, whole body vibrations and harvester performance. 21 s. |
| Nr | 934 | Bjurholm, A., Jansson, G., Thierfelder, T. & Nordström, M. 2017. Utvärdering av metoder för mätning av rundved i trave -en statistisk och ekonomisk analys. – Evaluation of methods for measuring roundwood in stacks – a statistical and economical analysis 67 s. |

- Nr 935 Enström, J., Asmoarp, V., Bergkvist, M. & Davidsson, A. 2017. F örstudie för projektet Pilotimplementering av 74 ton. - Preliminary study for the Pilot Implementation of 74-tonne Vehicles project, commissioned by the Swedish Transport Administration. 50 s.
- Nr 936 Eliasson, L. & von Hosten, H. 2017. Acceleratorhastighetens effekt på Prestation, bränsleförbrukning och fliskvalitet för en större trumhugg – Bruks 1006. – Effect of accelerator speed on productivity, fuel consumption and chip quality for a large drum chipper – Bruks 1006. 12 s.
- Nr 937 Söderberg, Jo., Willén, E., Möller, J.J., Arlinger, J. och Bhuiyan, N. 2017. Utvärdering av utbytesprognoser med skogliga laserskattningar och skördardata – resultat från tre fallstudier. – Evaluation of yield forecasts produced by forest laser estimations and harvester data – results from three case studies. 61 s.
- Nr 938 Högberg, K.-A. 2017. Effekter av förökningsmetod på plantors tidiga utveckling – somatisk embryogenes på gran och sticklingförökning av tall. – Effects of propagation method on early development of plants – somatic embryogenesis for spruce and cutting propagation for pine. 15 s.
- Nr 939 von Hofsten, H. 2017. Transportekonomi vid massavedstransport med olika antal travar på 74 tons virkesbil -Teoretisk analys. – Transport economics in pulp wood transport. – A theoretical analysis of number of stacks on 74-tonne trucks. 12 s.
- Nr 940 Nordström, M. & Hannrup, B.- 2017. Förbättrad diamettermätning i skördare – En pilotstudie med åtta Ponsse slutavverkningsskördare. – Improved diameter measurement in harvesters: A pilot study using eight Ponsse harvesters for final felling. 54 s.
- Nr 941 Brunberg, T., Johansson, F. och Löfroth C. 2017. Dieselförbrukningen hos skogslastbilar under 2016. – Diesel consumption in forest trucks, 2016. 9 s.
- Nr 942 Eriksson, B., Alenius, H., Ahlström, A. & Sääf, M. 2017. Sammanslagna tjänster i skogsbruket – Vertikal integration i skogsbruket. Vertical integration in forestry services. 24 s.
- Nr 943 Mörk, A., Sääf, M. & Jönsson, P. 2017. Förslag till riktlinjer för bättre trakttdirektiv.
- Nr 944 Siljebo W., J Möller, J.J. , Hannrup, B. & Bhuiyan, N. 2017. Modul för beräkning av skogsbränsle baserat på skördardata. – hprCM version 1.0 – Harvested Production Calculation Module baserad på StanForD 2010 version 3.2. 65 s.
- Nr 945 Willén, E., Friberg, G., Flisbeg, P., Andersson, G., Rönnqvist, M. & Westlund, K. 2017. Bestway – beslutsstöd för förslag till huvudbasvägar för skotare – Metodrapport. Bestway – decision support tool for proposing main base roads for forwarders. – Method report. 36 s.
- Nr 946 Westerfeldt, Per. 2017. Hänsynsstyrning i gallring.
- Nr 947 Söderberg, J. 2017. Utvärdering av utbytesprognoser med skogliga laserskattningar och skördardata. – Resultat från tre fallstudier. – Evaluation of yield forecasts produced by forest laser estimations and harvester data – results from three case studies.
- Nr 948 Utvärdering av lönsamheten av olika skötselprogram med gallringsmallen och planeringsinstrumentet INGVAR.
- Nr 949 Sikström U., Gålnander ,H., Hjelm, K., Hajek, J., Friberg , G. & Sundblad L.-G. 2017. Beståndsanläggningskedjan – The regeneration chain.

SKOGFORSK

– Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut

arbetar för ett lönsamt, uthålligt mångbruk av skogen. Bakom Skogforsk står skogsföretagen, skogsägareföreningarna, stiften, gods, skogsmaskinföretagare, allmänningar m.fl. som betalar årliga intressentbidrag. Hela skogsbruket bidrar dessutom till finansieringen genom en avgift på virke som avverkas i Sverige. Verksamheten finansieras vidare av staten enligt särskilt avtal och av fonder som ger projektbundet stöd.

FORSKNING OCH UTVECKLING

Sex forskningsprogram och processer:

- Driftsystem
- Förädling
- Skogsskötsel
- Värdekedjor
- Digitalisering
- Skogliga samhällsnyttor

UPPDRAG

Vi utför i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter.

Det kan gälla utredningar eller anpassning av utarbetade metoder och rutiner.

KUNSKAPSFÖRMEDLING

För en effektiv spridning av resultaten används flera olika kanaler: personliga kontakter, webb och interaktiva verktyg, konferenser, media samt egen förlagsverksamhet med produktion av trycksaker och filmer.

Från Skogforsk nr. 945-2017



www.skogforsk.se