

Automatiska avläggs- och basvägsförslag i avverkningsplanering

Automatic landing and main extraction route proposals in harvest planning



© SKOGFORSK/GÖSTA LINDWALL

Summary

Since 2012, Skogforsk has been developing a model, Bestway, that generates proposals for main extraction routes from the felling area to landings. The main extraction route proposal is based on area delineation and landings specified by the user. Passages such as crossings over watercourses or a predefined route between felling site and landing can also be included in the model. The optimisation is based on a digital soil model, depth-to-water map, timber volume estimations, and various considerations for natural and cultural values.

The Bestway model has been validated by BillerudKorsnäs, Mellanskog and Södra. The validation showed that the model works well for felling sites greater than 2-3 hectares, assuming that the landings are well placed. An important improvement would be for the model to propose landings.

The aim of this study was to develop a model that automatically optimises the landings and main extraction route, and to validate the model and its benefits in collaboration with forest companies.

A method for mapping landing zones has been developed and included in a model for optimising landing and main extraction route. The model generates proposals for one or two landings, and has been validated by Södra and BillerudKorsnäs with good results. When the proposals were compared with real forwarding distances over 13 felling sites, the optimal proposals resulted in a 17% reduction in the total forwarding distance due to the use of more landings and shortening of the route.

At the same time, it may be the possibility of developing proposals for different routes and baseline options that is the great advantage of the model. It can be used in dialogue with forest owners and as a basis for field inventory. This enables well-founded decisions that streamline the forest operations.



Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala
skogforsk@skogforsk.se
skogforsk.se

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts den 24 mars 2021 av Gert Andersson, Programchef. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, granskat och godkänt publikationen för publicering den DATUM MÅNAD ÅR.

Redaktör: Anna Franck, anna@annafranck.se
©Skogforsk 2021 ISSN 1404-305X

Förord

Denna rapport summerar utveckling och utvärdering av en modell som optimerar utplaceringen av avlägg och basvägar inför slutavverkning. Arbetet har bedrivits i samarbete mellan Skogforsk, Creative Optimization AB (Mikael Rönnqvist och Patrik Flisberg) samt skogsföretagen Södra och BillerudKorsnäs. Skogsföretagen har bidragit med avverkningstrakter och aktivt ansvarat för användarutvärdering. Vi vill på detta sätt tacka alla medverkande som bidragit till studiens genomförande. Finansieringen för studien kommer från Skogforsk och forskningsprogrammet Mistra Digital Forest. Rapporten summerar den vetenskapliga publikationen av Flisberg et al 2021.

Uppsala, april 2021

Victoria Forsmark, Patrik Flisberg,
Aron Davidsson, Mikael Rönnqvist & Erik Willén

Innehåll

Summary.....	2
Förord	3
Sammanfattning.....	5
Bakgrund	6
Syfte och mål.....	8
Material och metoder	9
Modell för användbara avläggsplatser	9
Optimering.....	10
Fallstudier av utvecklad modell med automatisk identifikation av avlägg	12
Indata till fallstudierna	12
Metod fallstudie 1 – Södra Småland.....	14
Metod fallstudie 2	15
Resultat	16
Fallstudie 1	16
Lämpliga avläggszoner	16
Skotningssträckan.....	18
Körning i fuktig och kuperad terräng.....	23
Fallstudie 2.....	24
Användbara avläggs- och basvägsförslag	24
Diskussion	26
Slutsatser.....	27
Referenser.....	28

Sammanfattning

Skogforsk har sedan 2012 utvecklat en modell, Bestway, som genererar förslag på basvägar för avverkningsstrakten. Basvägsförslaget bygger på indata i form av den stående skogens volymfördelning baserat på laserskanning, traktgräns och avlägg som anges av användaren. Det går även att lägga in tvingande vägar som exempelvis överfarter över vattendrag eller en i förväg bestämd väg mellan avlägg och avverkning. I modellen optimeras sedan basvägarnas utläggning utifrån en algoritm som finner vägen från simulerade uppställningsplatser för skördaren i skogen ut till förutbestämda avläggspositioner vid väg. De många vägarna som bildas från varje enskild uppställningsplats läggs successivt samman till ett praktiskt fungerande basvägsmönster. En digital markmodell, markfuktighetskarta, virkesvolymsskattning samt olika hänsynstaganden till natur- och kulturvärden nyttjas för att ange begränsningar i körmonster och sätta olika motståndsvärden för olika vägval.

Bestway-modellen har utvärderats av BillerudKorsnäs, Mellanskog och Södra. Utvärderingarna visade att modellen fungerar väl för avverkningsstråk större än 2–3 hektar, givet att avläggen placeras bra. En viktig förbättring vore att modellen skulle kunna föreslå lämpliga avläggspunkter.

Målet med denna studie var att utveckla en modell som automatiskt optimerar avläggs- och basvägsförslag samt att utvärdera modellen och dess nytta i samarbete med skogsföretag.

En metod för att kartera avläggszoner har utvecklats som inkluderats i en modell för avläggs- och basvägsoptimering. Modellen genererar förslag på ett eller två avlägg per trakt. Modellen utvärderades av Södra och BillerudKorsnäs med goda resultat. När jämförelsen gjordes mot verkliga skotningssträckor över 13 avverkningsstråk gav de bäst optimerade förslagen en reduktion av den totala skotningssträcken med 17 procent. Optimeringen kortar körsträckan på varje trakt och identifierar fler möjliga avlägg för varje trakt, vilket bidrar till en kortad körsträcka. Kanske är det möjligheten att få fram förslag för olika avläggs- och basvägsalternativ som är den stora fördelen med modellen. Förslagen kan användas i dialog med skogsägare och som underlag för fältinventering. Det möjliggör för välgrundade beslut som effektiviserar drivningen.

Bakgrund

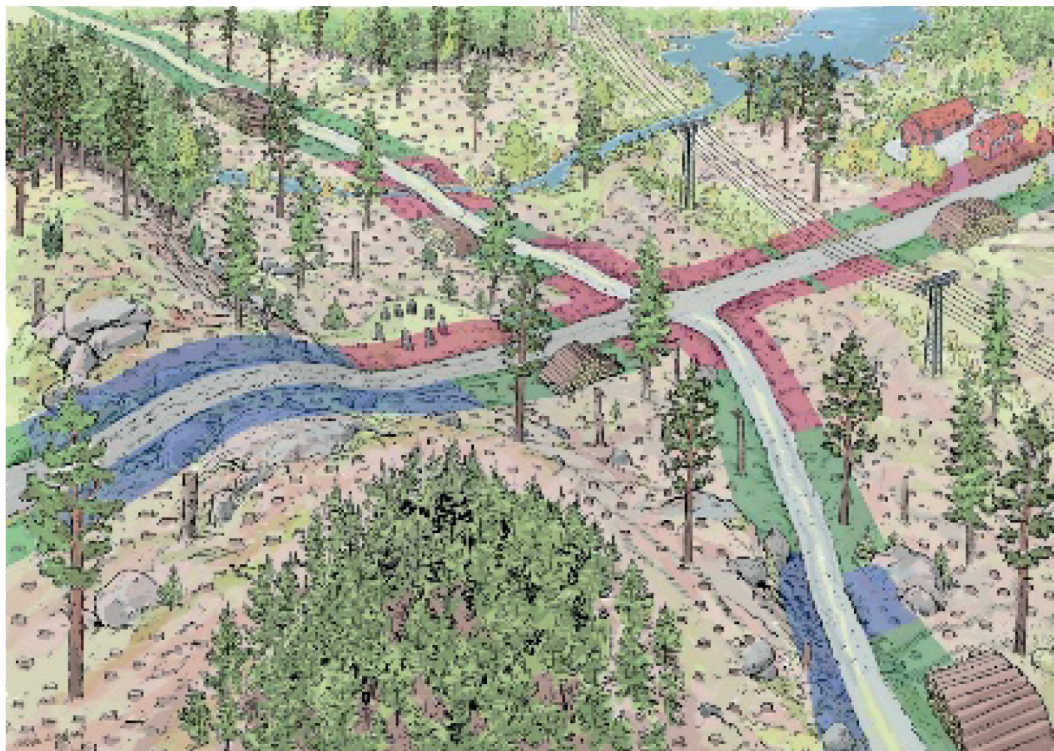
Under senare år har problematiken kring spårbildning på mark och vatten i samband med skogsbruk uppmärksammats alltmer. Skogsbruket har genom olika insatser sökt minska påverkan på vatten genom att minimera körskador från avverkningsmaskinerna. En branschgemensam miljöpolicy om körskador på skogsmark upprättades för att visa på god praxis och klassificera olika körskador (Berg 2010). Studier visade 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 metoder som att risa och bygga överfarter över blöta områden och känsliga partier, kan skador på marken minskas.

Skogforsk har sedan 2012 utvecklat en modell, Bestway, som genererar förslag på basvägar från avlägg ut till och över avverkningstrakten. Basvägsförslaget bygger på indata i form av traktgräns och avlägg som anges av användaren. Det går även att lägga in tvingande vägar som exempelvis överfarter över vattendrag eller en i förväg bestämd väg mellan avlägg och avverkning. I modellen sker sedan en optimering som bygger på en digital markmodell, markfuktighetskarta, virkesvolymsskattning samt olika hänsynstaganden till natur- och kulturvärden. Metoden summeras i Willén m.fl. (2017a) och Rönnqvist m.fl. (2020).

Bestway-modellen har utvärderats av BillerudKorsnäs, Mellanskog och Södra (Willén m.fl. 2017b,c, Willén m.fl. 2019). Utvärderingarna visade att modellen fungerar väl för avverkningar större än 2–3 hektar, givet att avläggen placeras bra. Mellan 2014 och 2018 har modellen testats på ett hundratal trakter. Flera skogsföretag har gått vidare och implementerat modeller för basvägsutplacering i sin skogliga planering. Erfarenheterna visar att möjligheten att få förslag på basvägar och huvudbasstråk är uppskattat av både planerare och avverkningslag, speciellt förslag på bärig väg till inre delar av en trakt. Flera fördelar identifierades, som till exempel att maskinlagen får ett bra förslag till var trakten ska påbörjas, ett mer objektivet mått på medelskotningsavstånd samt kortare total skotningssträcka. Som förbättringar noterades möjligheten att modellen skulle kunna föreslå lämpliga avläggsplatser. Efter detta har tester utförts genom att kartera lämpliga avläggsplatser med geodata (Skogforsk 2018, Willén m.fl. 2019). Testerna föll väl ut och en inkludering av avläggsoptimering i Bestway ansågs som ett naturligt utvecklingssteg.

Idag finns inget automatiskt tillvägagångssätt för hur man bestämmer avläggens placering och storlek som beaktar alla begränsningar och överväganden. De manuella metoderna kräver en analys på plats för att hitta bra alternativ. Men även när planeraren är på plats är det mycket svårt att utvärdera den totala effekten av valet av en specifik avläggsplats. Planerarens överväganden är många. Förutom att avläggsplatsen ska vara kostnadseffektiv och generera korta skotningssträckor ska den också vara placerad på så sätt att en skotare kan lasta av och timmerbilar kan lasta på, alltsammans på ett effektivt och säkert sätt. Lutning i terräng, vägkorsningar och kraftledning är några av parametrarna som måste övervägas. Det är också viktigt att avläggets storlek är tillräckligt så att de olika produkterna enkelt kan separeras för att undvika sammanblandning i vidaretransporten.

Problemställningen illustreras i figur 1 där blåa zoner är olämpliga avläggsplatser på grund av terrängförhållanden (lutning i terräng och höjdskillnader mellan terräng och väg), röda zoner indikerar hinder på grund av regelverk eller hänsyn till miljö och samhälle och de gröna zonerna anses vara lämpliga som avläggsplatser.



Figur 1. Schematisk skiss som visar lämpliga (gröna zoner) och olämpliga avläggsplatser (röda zoner) samt avläggsplatser där höjdskillnader i terrängen innebär att avläggsplatsen blir olämplig (blåa zoner).

För allmänna vägar tillkommer även andra regler (Trafikverket, 2020) som bland annat inkluderar en avgift för avlägg längs allmänna vägar, men även kompletterande säkerhetsbestämmelser med högre krav på fri sikt längs det allmänna vägnätet. Ovan beskrivna modell för det privata vägnätet (vägklass 7–9) har utvärderats på flera platser (Skogforsk 2018, Willén m.fl. 2019) och stämmer överlag bra (60–90 procent), men det behövs regionala justeringar på vad som karakteriserar lämpliga avläggsplatser. I starkt kuperade områden behöver modellen kunna acceptera lägre krav på jämn terräng.

Både avläggets placering och storlek har avgörande betydelse för att avverkningarbetet och vidaretransporten av virke ska vara produktiv. Avlägget ska vara lätt att nå både för skotare vid avlastning och virkesbilar för pålastning. Storleken på avlägget ska vara tillräckligt för att enkelt separera olika produkter för att undvika sammanblandning i vidaretransporten.

SYFTE OCH MÅL

Syftet med projektet var att:

- Förbättra avläggsplacering genom karterade avläggszoner.
- Underlätta traktplanerarens förplanering och fältarbete genom förslag på avläggsplacering och basvägsdragning.
- Förbättra kommunikation mellan skogsföretag och skogsägare genom användning av beslutsunderlag för val av avläggsplats och basvägsdragning.
- Underlätta och effektivisera avverkningarbetet vid avverkning och skotning genom kortare skotningsavstånd och lägre andel skotning på fuktig mark och i lutande terräng.

Målet var att utveckla en modell som automatiskt optimerar avläggs- och basvägsförslag samt utvärdera modellen och dess nytta i samarbete med skogsföretag.

Material och metoder

Det integrerade planeringsproblemet består av tre olika beslut; hur många avlägg ska användas, var ska de placeras och hur ska huvudbasvägarna utformas? Varje beslut kräver detaljerade uppgifter om vägar, variationer i avverkningsvolym, terrägegenskaper, markfuktighet och hänsynstagande till natur- och kulturvärden.

MODELL FÖR ANVÄNDBARA AVLÄGGSPLATSER

Tillvägagångssättet beskrivs nedan och löses med hjälp av kartunderlaget i tabell 1. Det är nationellt tillgängliga data från olika myndigheter. En buffertzona användes från vektor-data som beskrivs nedan.

Tabell 1. Indatabehov till identifieringen av lämpliga avläggsrutor.

Information	Källa	Typ	Buffert meter
Digital höjdmall	Grid 2+, Lantmäteriet	Raster 2 meter	0
Vattendrag	Fastighetskarta, Lantmäteriet	Vektor	6
Kraftledningar	Fastighetskarta, Lantmäteriet	Vektor	6
Ägoslag	Fastighetskarta, Lantmäteriet	Vektor	0
Byggnader och anläggningar	Fastighetskarta, Lantmäteriet	Vektor	15
Skogsbilvägar och korsningar	NVDB, Trafikverket	Vektor (linjer)	30
Naturvärden	Naturvårdverket/Skogsstyrelsen	Vektor (polygoner)	0
Kulturvärden	Riksantikvarieämbetet	Vektor (punkter, linjer och polygoner)	5 för punkter/linjer

Först identifierades alla skogsbilvägar i närheten av varje avverkningsområde. Sedan konstruerades avläggsrutor längs båda sidor av utvalda skogsbilvägar. Detta gjordes genom att först skapa vägzoner på båda sidor av vägarna. Zonernas bredd vinkelrätt från vägkanten sattes till 12 meter. Tolv meters bredd bedömdes vara tillräckligt för att ge plats åt en virkesvälta av ordinära sortiment samt en skotare som kan stå i skogen och lossa virket utan att åsamka skada på den befintliga vägkroppen. Ytorna gjordes sedan kvadratiska (12 x 12 meter).

För att reducera mängden möjliga avläggsplatser i steg 1 utfördes ett lämplighetstest. En avläggsruta skulle uppfylla följande kriterier för att anses som lämplig:

- Enbart på skogsmark
- Minst 6 meters avstånd från kraftledningar och vattendrag.
- Minst 30 meters avstånd från vägkorsningar, byggnader och anläggningar.
- Ej i angränsning till eller inom skogliga hänsynsområden (natur- och kulturhänsyn).
- Maximalt 2 meters höjdskillnad inom avläggsrutan.
- Maximalt 2 meters höjdskillnad mellan avläggsruta och vägbana.

OPTIMERING

Bestwaymodellen (Rönnqvist m.fl. 2020) bestämmer i grundutförandet basvägsmönstret på trakten ut till manuellt definierade avlägg. Som grund finns detaljerad information i form av digital terrängmodell, markfuktighetskartor, virkesvolym och avläggspunkter.

Den ursprungliga lösningsmetoden består av fyra steg:

1. I det första steget bestäms uppställningsplatser som representerar de platser där skördaren lägger högar med det avverkade virket.
2. I det andra steget definieras ett nätverk av alla möjliga vägar och dess kostnader (motståndspoäng) från högarna i skogen till definierade avlägg vid vägen. Avläggens placering har tidigare varit ett manuellt moment i BestWay.
3. I steg tre genereras ett basvägnät med krav att alla uppställningsplatser/virkeshögar i skogen ska gå att nå med en skotare från något av de definierade avläggen vid bilväg. Optimeringsproblemet löses med hjälp av en Lagrangeheuristik. Heuristiken är en näroptimal metodik som används för mycket stora och svårlösta optimeringsproblem.
4. I det fjärde steget bestäms skotarrutter (lass för lass), för att skatta total körsträcka och tidsåtgång för skotningsarbetet.

Istället för att manuellt definiera möjliga avlägg vid bilväg ville vi nu utveckla modellen och utnyttja de avläggszoner som definierats med den algoritm som beskrevs i det förra kapitlet (Flisberg 2021).

På varje trakt identifierades två avlägg, A och B. För att hitta bästa avlägget eller kombination av avlägg vid väg utvärderar modellen sedan tre alternativ avseende skotning-savstånd och uppskattad tidsåtgång för skotningsarbetet:

- Avlägg A
- Avlägg B
- Avlägg A+B

Kraven på de identifierade avläggen var:

- ett sammanhängande område av tillåtna avläggskvadrater,
- ett av avläggen skulle ha kapacitet att lagra hela den avverkade volymen på trakten, alternativt skulle avläggen tillsammans ha kapacitet att kunna lagra hela den avverkade volymen,
- kapaciteten kan vara lägre än den totala volymen, men då förutsätts avtransport från avlägget under skotningsarbetet.

Åtminstone ett av scenariona med endast ett avlägg har en kapacitet på den totala volymen. Scenariot med två avlägg måste ha en total kapacitet på minst den totala volymen. Optimeringen utfördes i sex steg enligt beskrivningen nedan:

Steg 1: Bestäm bästa koppling mellan uppställningsplatser och möjliga avläggsrutor.

Detta är i huvudsak för att göra en ändring i steg tre av BestWay-lösningssmetoden, där varje möjlig avläggsruta definierade en potentiell avläggszon. Vi hade alla uppställningsplatser (N_s) från steg ett i BestWay-lösningssprocessen och beräknade billigast väg mellan alla uppställningsplatser och alla möjliga avläggsrutor. Detta gav oss den avläggsruta som föredras för varje uppställningsplats och dess lägsta möjliga kostnad samt gav oss en uppsättning lovande avläggsrutor. Detta problem löstes enkelt som ett enda billigaste vägproblem efter att vi adderat en superkälla till alla uppställningsplatser och en supersänka från alla tillåtna avläggsrutor. Bågekostnaderna i modellen inkluderade också en kostnad för att passera eventuella bilvägar, vilket gav möjligheten att minska antalet överfarter över bilvägar.

Steg 2: Identifiera möjliga avläggszoner

Utgående från de lämpligaste avläggsrutorna och deras volymer från steg ett slog vi samman närliggande rutor för att bygga upp avläggszoner, LZ . Närliggande avläggszoner har ett minsta avstånd mellan sig. Vi tillämpade denna process två gånger. Först bestämde vi avläggszoner som kan ta hela volymen och sedan andra zoner som inte kan hantera hela volymen. Zonerna som hittades i den första processen togs bort i den andra. För att fastställa hur stor en avläggszon behövde vara för att kunna ta hela volymen behövde vi uppskatta den totala längden. Enligt Skogforsk (2018) är ekvationen för uppskattning av avlägglängden baserad på total volym under bark (m^3fub) och antal sortiment (till exempel sågtimmer och massaved av olika trädslag) enligt:

$$Sträcka = \frac{\text{Förväntad volym (m}^3\text{fub)}}{10} + 5 \times \text{antal sortiment} \quad (1)$$

Sträckan behövs för att kunna utföra effektiva skogliga operationer och för samtida lastning av flera timmerbilar. Vi antar fem olika sortiment.

Steg 3. Bestäm kostnad för varje möjlig avläggszon

Bestwaymodellen löstes lika många gånger som antalet identifierade avläggszoner LZ . För varje lösning, $index\ z$, definierades en total kostnad (f_z), volymkapacitet (v_z) och total skotningskostnad för varje uppställningsplats, p (c_{zp}), där $z \in LZ$ och $p \in N_s$. Detaljerad information om skotningskostnaden för varje uppställningsplats var viktig för att utvärdera den bästa kombinationen av två avläggszoner. Kapaciteten av totala virkesvolymer vid zon z behöver inte vara lika stor som den avverkade volymen.

Steg 4. Identifiera de två bästa avläggszonerna

Den bästa och näst bästa möjliga avläggszonen (A och B) sparades genom att välja de alternativ som har lägst totalkostnad, f_z .

Steg 5. Identifiera den bästa kombinationen av två avläggszoner

För varje kombination av två avläggszoner, z_1 and z_2 , genomfördes följande delsteg:

- Verifiera att den totala volymen för avläggszonerna är större än avverkad volym, det vill säga $v_{z1} + v_{z2} \geq$ total volym från avverkningen.
- Beräkna skillnaden i kostnad för två avläggszoner för varje uppställningsplats, p , i.e., $d_p = |c_{z1,p} - c_{z2,p}|$. Detta ger ett mått på kostnadsökningen om en uppställningsplats inte kan använda den bästa avläggszonen.
- Sortera d_p i sjunkande ordning.
- Fördela uppställningsplatserna till mest lämpliga avlägg så länge som det inte blir fullt. När en avläggszon är full fördelas uppställningsplatserna till den avläggszon som inte är full ännu. Den totala kostnaden beräknas och kombinationen av de två avläggszoner med lägst total kostnad används (C).

Steg 6. Fastställ de bästa avläggen

Bestwaymodellen löstes för de bästa avläggsförslagen, A , B och C . Dessa avläggsförslag kan ändras något då övriga avläggszoner i steg två ovan inte längre begränsar deras utbredning. Nyckeltal för dessa beräknas för jämförelse och slutligt val av bästa avläggsalternativ.

Den föreslagna metodiken är heuristisk och garanterar inte en optimal lösning, men strategin är utvecklad genom att lösa relaterade optimeringsproblem för att hitta en näroptimal lösning. Genom att använda två avläggsalternativ med en avläggszon kan vi garantera att åtminstone ett avläggsalternativ kan hålla hela den avverkade volymen (om det existerar något avläggsområde som är tillräckligt stort).

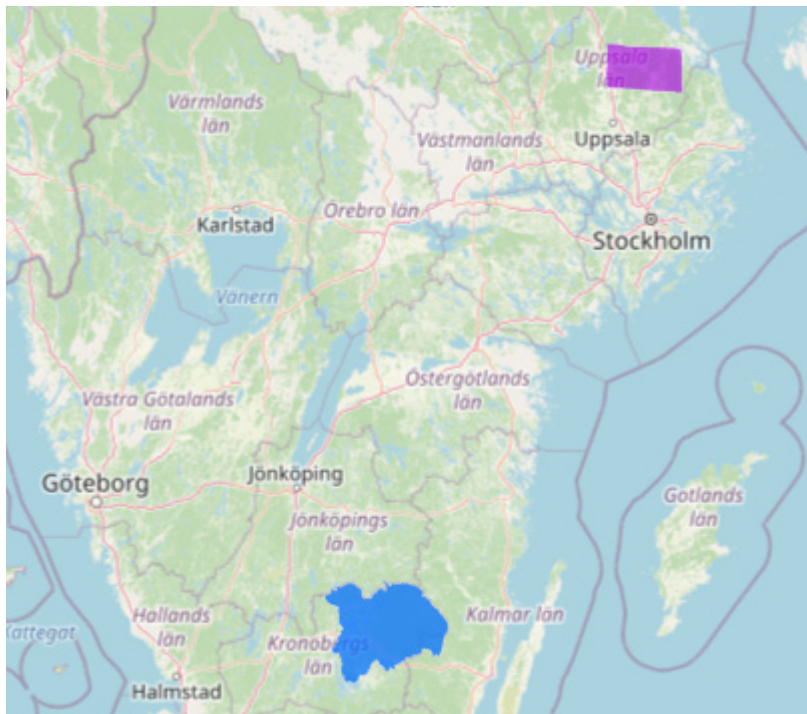
FALLSTUDIER AV UTVECKLAD MODELL MED AUTOMATISK IDENTIFIKATION AV AVLÄGG

I två fallstudier har den utvecklade modellen med automatisk identifikation av avlägg vid väg testats och utvärderats jämfört med genomfört praktiskt avverkningsarbete:

- Fallstudie 1 utfördes i Småland i samarbete med Södra med tester av optimeringsmodellen för att undersöka modellens potential jämfört med verklighetens avverkningsarbete.
- Fallstudie 2 gjordes i Uppland i samarbete med BillerudKorsnäs där modellens användbarhet (nyttan) som beslutstöd i planeringsskedet (inför avverkning) utvärderades.

Indata till fallstudierna

Studieområdena utgjordes av ett område (blått) inom verksamhetsområde Växjö och ett annat öster om Tierp (lila) i Uppland (Figur 2).



Figur 2. De två områdena som utgjorde studieområdet. © OpenStreetMap.

Indata till modellen var i huvudsak samma som användes vid tidigare utvecklingsprojekt (Willén m.fl. 2017bc, Willén m.fl. 2019) med den skillnaden att vi även använde skördar-data för utvärdering (Tabell 2).

Tabell 2. Indata som används i optimeringsmodellen.

Information	Källa	Typ
Lämpliga avläggsrutor	Se tabell 1	Vektor
Digital höjdmodell	Grid 2+, Lantmäteriet	Raster 2 meter
Virkesvolym	Skogliga grunddata/ Produktionsdata från skördare	Raster 12,5 meter Raster, se fallstudie 1
Traktgränser	Produktionsdata från skördare/ Beståndsregister	Vektor, se fallstudie 1 Vektor, se fallstudie 2
Markfuktighetskarta	Södra respektive BillerudKorsnäs	Raster 2 meter
Naturvärden	Naturvårdsverket/Skogsstyrelsen	Vektor (polygoner)
Kulturvärden	Riksantikvarieämbetet	Vektor (punkter, linjer och polygoner)

Metod fallstudie 1 – Södra Småland

Den automatiska optimeringen av avläggs- och basvägsförslag testades på 13 redan avverkade slutavverkningar med syftet att undersöka alternativa avläggsplaceringar samt hur körsträckan kunde minimeras och körning i fuktig och lutande terräng kunde undvikas. Avverkningararbetet utfördes av erfarna maskinförare. Samtliga avläggsplatser fältinventerades av Skogforsk och där optimerade avläggsplaceringar med Bestway avvek från dem som använts i praktiken gjordes besök av Södras inspektorer för att bedöma de förslag som givits med modellen.

För att validera modellen testades fem olika scenarion. I dessa användes både volymer från skogliga grunddata och volymer från de utförda avverkningarna (produktionsfiler från skördare) samt optimerade avläggsförslag och avlägg som användes vid avverkningen. För den verkliga körsträckan användes körloggar från skotaren. Tabell 3 visar volym per objekt för skogliga grunddata och skördarens produktionsfiler. Skogliga grunddata är omräknat från m^3sk till m^3fub med hjälp av faktorn 0,84. Skogliga grunddata är baserad på laserdata från 2012, men ofta är avverkad volym lägre trots en tillväxt. Sannolikt beror detta av att det är mindre arealskillnader mellan objekten samt att det finns lämnad naturhänsyn efter avverkning.

Tabell 3. Information om de 13 avverkade trakterna i fallstudie ett. Total virkesvolym från skogliga grunddata data var 10 843 m^3fub , medan volymen från skördarens produktionsdata var 9 191 m^3fub .

ID	Area (ha)	Volym från skogliga grunddata (m^3fub)	Virkesvolym från skördarens produktionsdata (m^3fub)
1	3,3	671	648
2	4,1	1106	976
3	4,6	835	843
4	4,8	949	802
5	1,8	401	419
6	9,1	2288	1336
7	2,6	627	494
8	3,0	585	471
9	2,3	376	307
10	2,2	383	414
11	1,5	345	300
12	5,1	1032	1046
13	5,6	1254	1136

Scenariona var;

1. modell med volym från skogliga grunddata och ett optimerat avlägg
2. modell med volym från skogliga grunddata och två optimerade avlägg
3. modell med volym från skördarens produktionsfil och ett optimerat avlägg
4. modell med volym från skördarens produktionsfil och två optimerade avlägg
5. modell med volym från skördarens produktionsfil och samma avlägg som användes vid avverkningararbetet

Resultaten från scenariona utvärderades sedan genom jämförelser mot det verkliga avverkningsarbetet. Följande jämförelser gjordes:

- Total skotningssträcka.
- Andel av basväg i blöt terräng enligt markfuktighetskartan.
- Andel av basväg i terräng med lutning över 11 procent i körriktningen.
- Andel av basväg i terräng med sidolutning över 11 procent.

Virkesvolymen från skördaren produktionsfil användes för att konstruera det volymraster som användes vid körningarna av scenario 3, 4 och 5. Av produktionsdata konstruerades först ett punktskikt som sedan konverterades till ett 12 x 12 m raster.

Trakternas avgränsning bestämdes med hjälp av skördarens GPS-positioner (=skördarens uppställningsplatser vid kranarbete). Runt alla positionspunkter buffrades en 10 meters (kranlängd 10 meter) polygon, vilken sedan aggregerades till en beståndspolygon vars yttergräns förenklades med en tolerans på 3 meter innan den användes i optimeringarna.

Samtliga avverkningstrakter kördes därefter för alla scenarion i Bestway. Skotarens körloggar användes för att bestämma den verkliga skotningssträckan, det vill säga skotningssträckan från utfört avverkningarbete. Denna kunde sedan jämföras med den totala skotningssträckan för de olika scenariona.

För att undersöka om de optimerade basvägsförslagen resulterade i mer eller mindre körning i fuktig och kuperad terräng (sido- och framåt-bakåtlutning) än den verkliga skotningen gjordes en jämförelse däremellan.

För det ändamålet konstruerades en ny parameter i modellen, en *jämförelsebasväg*. Jämförelsebasvägen definieras som en basvägsträcka där minst 50 procent av den totala virkesvolymen har passerat. För denna sträcka analyserades sedan andelen körning i fuktig och kuperad terräng (sido- och framåt-bakåtlutning) för alla scenarion samt den utförda skotningen.

Metod fallstudie 2

I samband med drivningsplaneringen av tio slutavverkningar användes avläggs- och basvägsförslag från Bestway som beslutsunderlag i syfte att utvärdera den praktiska användbarheten av erfarna traktplanerare hos BillerudKorsnäs.

För varje trakt genererades två alternativ:

- (1) ett avlägg med tillhörande basväg och
- (2) två avlägg med tillhörande basvägar samt nyckeltal för båda alternativen.

För utvalda trakter fick planeraren tillgång till avläggs- och basvägsförslag i vektorformat tillsammans med en sammanställning för nyckeltalen.

Avläggs- och basvägsförslagens lämplighet utvärderades genom att traktplanaren besökte alla förslag i fält.

Utvärderingsfrågor för traktplaneringen

Avläggsförslag

Alt 1 - Fungerar den föreslagna platsen som avlägg? (Ja/Nej -varför?)

Alt 2 - Fungerar den föreslagna platsen som avlägg? (Ja/Nej -varför?)

Valdes något av alternativen? (Ja -vilket? /Nej)

Alt 1 -Varför/varför inte valdes förslaget?

Alt 2 -Varför/varför inte valdes förslaget?

Basvägsförslag

Alt 1 - Fungerar förslaget som basväg? (Ja/Nej -varför?)

Alt 2 - Fungerar förslaget som basväg? (Ja/Nej -varför?)

Valdes något av alternativen? (Ja -vilket? /Nej)

Alt 1 -Varför/varför inte valdes förslaget?

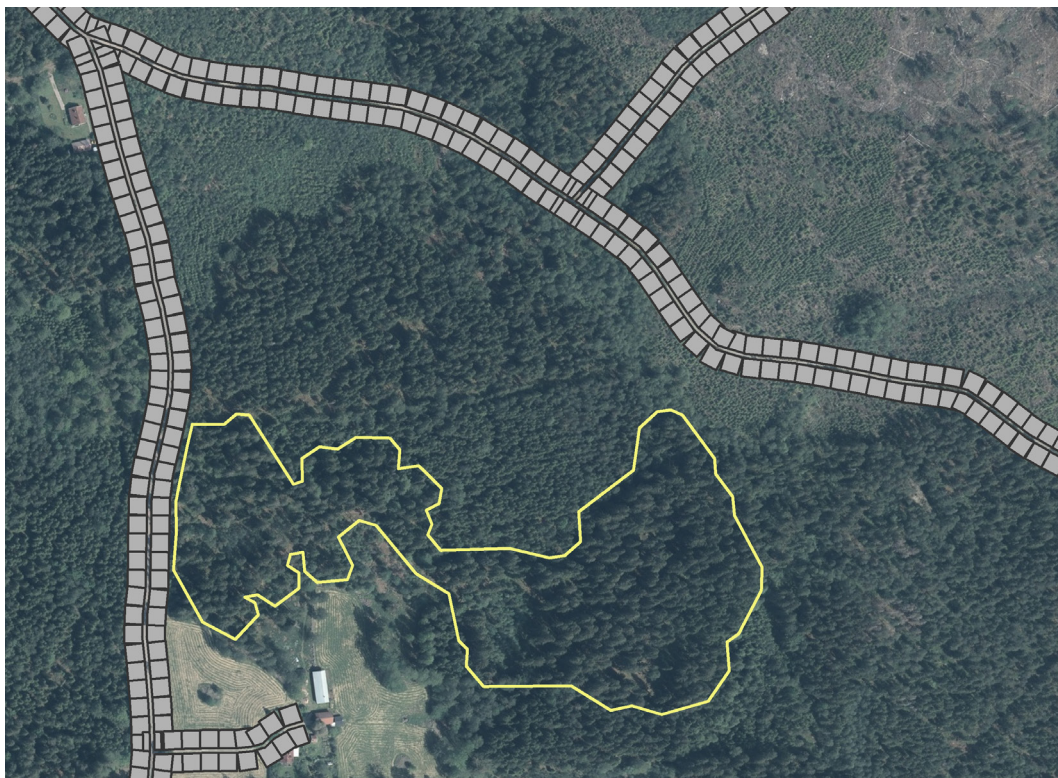
Alt 2 -Varför/varför inte valdes förslaget?

Resultat

FALLSTUDIE 1

Lämpliga avläggszoner

Studien utfördes i ett område med relativt flack terräng där skogsbilvägarnas linjeföring i terrängen var god. I figur 3 och 4 visas skogsbilvägarna närmast en av trakterna samt resultaten före och efter modellen för lämpliga avläggszoner. Modellen har för denna trakt tagit bort avläggrutor på grund av vägkorsningar, byggnader, höjdskillnader mellan väg och ruta samt höjdvariation inom ruta.



Figur 3. Resultat från första fasen när avläggsrutor (12x12 meter) har skapats längs båda sidor av skogsbilvägarna.



Figur 4. Resultat efter att samtliga avläggsrutor (i figur 3) har genomgått lämplighetstestet. Avläggsrutor som visas i bilden anses enligt studiens kriterier vara lämpliga avläggsplatser.

I studien generades 26 avläggsförslag. Vid fältinventering av dessa konstaterades att samtliga hade positionerats på lämpliga platser.

I figur 5 visas ett avläggsförslag som har projicerats i fält. Modellen för lämpliga avläggszoner identifierade en ruta som inte passade (röd färg). Orsaken var att höjdskillnaden mellan terräng och vägbana var för stor.



Figur 5. Ett av avläggen som besöktes i fält där det tydligt framgår varför en avläggsruta inte passerade lämplighetstestet (den röda rutan). Orsaken var att höjdskillnaden mellan terrängen i den röda rutan och vägbanan översteg två meter. I bilderna till vänster visas samma skogsbilväg/avlägg från ovan, där den översta bilden är en översiktbild, den mellersta bilden visar vilka avläggrutor som var lämpliga och den nedre bilden visar den digitala höjdmodellen.

Skotningssträckan

I tabell 4 visas resultaten från de fem scenariona samt den verkliga skotningssträckan för de 13 avverkningsstrakterna i fallstudie 1. Vid jämförelse av scenario 1 och 2 där volymen kommer från skogliga grunddata minskar den totala skotningssträckan från 27,5 km till 23,6 km om två avlägg används istället för ett, vilket är en minskning på 14 procent.

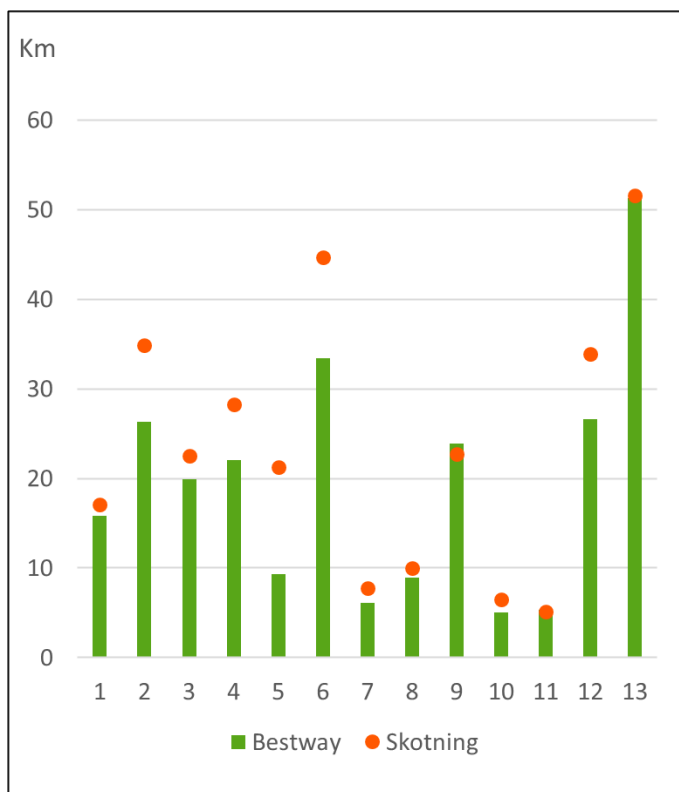
Tabell 4. Resultat efter optimering för alla fem scenarion och den verkliga skotningssträckan för varje trakt. Medelvärden redovisas för alla scenarion, den kombination av scenario 3 och 4 (3/4) som ger kortast total skotningssträcka samt den verkliga körsträckan ("Skotning").

Trakt ID	Scenario	Volym	Avlägg	Arealvägt medel-skotningsavstånd (m)	Volymvägt medelskotnings-avstånd (m)	Total körsträcka (km)
1	1	LiDAR	1	139,3	175,1	16,8
	2	LiDAR	2	138,9	175,1	16,8
	3	Hpr	1	131,3	172,8	15,9
	4	Hpr	2	130,9	172,8	15,9
	5	Hpr	1 (givet)	137,5	180,9	16,1
	Skotning	Hpr				17,1
2	1	LiDAR	1	228,2	350,2	46,3
	2	LiDAR	2	142,1	195,4	28,8
	3	Hpr	1	231,1	277,6	33,3
	4	Hpr	2	139,9	204,9	26,3
	5	Hpr	1 (givet)	225,8	376,0	43,6
	Skotning	Hpr				34,9
3	1	LiDAR	1	168,8	212,3	24,2
	2	LiDAR	2	120,7	160,0	18,6
	3	Hpr	1	159,1	205,1	22,6
	4	Hpr	2	120,8	167,5	19,9
	5	Hpr	1 (givet)	154,4	220,5	23,9
	Skotning	Hpr				22,5
4	1	LiDAR	1	152,8	209,6	27,4
	2	LiDAR	2	150,7	208,1	26,8
	3	Hpr	1	148,6	205,1	23,0
	4	Hpr	2	147,0	203,3	22,1
	5	Hpr	1 (givet)	147,5	203,6	22,8
	Skotning	Hpr				28,3
5	1	LiDAR	1	143,5	198,6	10,6
	2	LiDAR	2	112,9	170,6	9,5
	3	Hpr	1	142,8	191,1	10,7
	4	Hpr	2	115,0	174,9	9,3
	5	Hpr	2 (givna)	220,0	281,0	14,9
	Skotning	Hpr				21,3
6	1	LiDAR	1	161,5	216,8	67,4
	2	LiDAR	2	115,6	178,3	56,5
	3	Hpr	1	176,9	250,7	43,8
	4	Hpr	2	108,0	175,3	33,4
	5	Hpr	2 (givna)	106,6	175,6	33,7
	Skotning	Hpr				44,7
7	1	LiDAR	1	114,6	139,7	12,2
	2	LiDAR	2	65,6	84,3	8,4
	3	Hpr	1	101,9	150,9	10,4
	4	Hpr	2	60,6	81,0	6,1
	5	Hpr	1 (givet)	99,7	147,3	10,1
	Skotning	Hpr				7,8

Forts. Tabell 4.

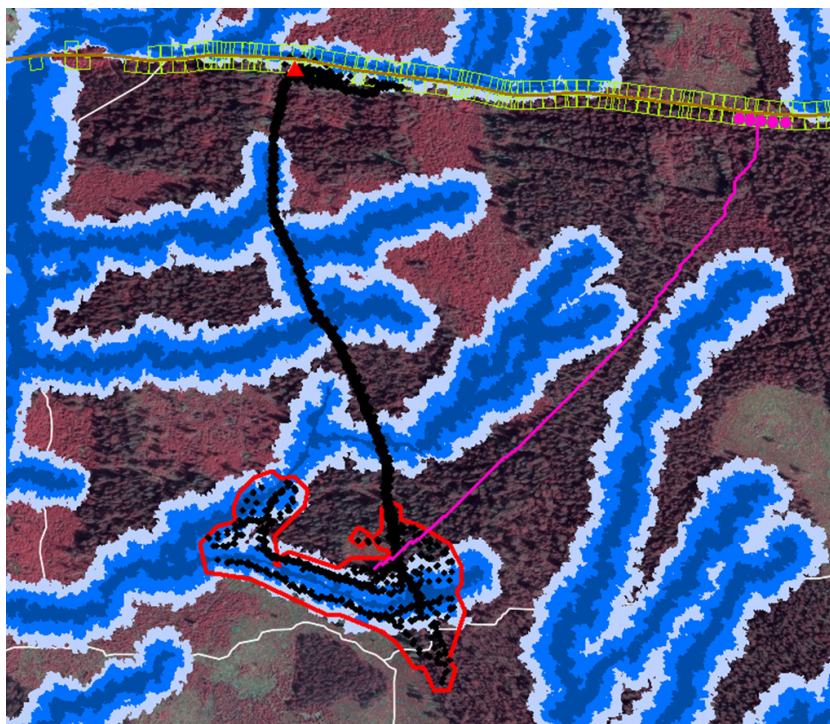
Trakt ID	Scenario	Volym	Avlägg	Arealvägt medel-skotningsavstånd (m)	Volymvägt medelskotnings-avstånd (m)	Total körsträcka (km)
8	1	LiDAR	1	120,0	171,4	14,4
	2	LiDAR	2	92,1	128,4	11,1
	3	Hpr	1	115,1	147,9	9,9
	4	Hpr	2	92,2	128,3	8,9
	5	Hpr	1 (givet)	125,6	168,4	10,9
	Skotning	Hpr				10,0
9	1	LiDAR	1	602,3	702,2	31,7
	2	LiDAR	2	491,3	627,2	29,2
	3	Hpr	1	600,8	701,0	25,8
	4	Hpr	2	490,1	615,1	23,9
	5	Hpr	1 (givet)	499,7	681,2	25,0
	Skotning	Hpr				22,7
10	1	LiDAR	1	98,1	142,3	8,0
	2	LiDAR	2	61,6	86,3	5,4
	3	Hpr	1	84,4	117,7	6,7
	4	Hpr	2	57,9	79,1	5,0
	5	Hpr	2 (givet)	62,7	87,6	5,4
	Skotning	Hpr				6,5
11	1	LiDAR	1	93,4	121,0	6,0
	2	LiDAR	2	87,3	121,0	6,0
	3	Hpr	1	87,3	115,2	5,3
	4	Hpr	2	86,8	124,2	5,4
	5	Hpr	1 (givet)	89,1	118,3	5,3
	Skotning	Hpr				5,1
12	1	LiDAR	1	184,7	244,4	33,1
	2	LiDAR	2	148,5	199,5	28,0
	3	Hpr	1	184,6	242,9	32,9
	4	Hpr	2	146,2	193,4	26,6
	5	Hpr	1 (givet)	186,9	247,4	33,3
	Skotning	Hpr				33,9
13	1	LiDAR	1	280,1	379,1	58,9
	2	LiDAR	2	211,4	399,6	61,2
	3	Hpr	1	276,3	370,0	51,3
	4	Hpr	2	212,7	399,2	56,5
	5	Hpr	1 (givet)	247,6	434,8	59,2
	Skotning	Hpr				51,6
Medel	1	LiDAR	1	191,3	251,0	27,5
	2	LiDAR	2	149,1	210,3	23,6
	3	Hpr	1	187,7	242,2	22,4
	4	Hpr	2	146,8	209,1	20,0
	5	Hpr	(givna)	177,3	255,6	23,5
	Skotning	Hpr				23,6
	3/4	Hpr	½	151,8	206,2	19,5

På tio av avverkningarna gav optimering med två avlägg kortare skotningssträcka än optimering med ett avlägg. Om man för varje trakt väljer det avläggsalternativ (scenario 3 eller 4) som resulterar i kortast körsträcka blir körsträckan i medel 19,5 km per trakt. I jämförelse mot det verkliga skotningsarbetet (23,6 km) är det en minskning på 17 procent. I figur 7 nedan visas jämförelsen av den totala körsträckan på traktnivå.



Figur 7. Den totala körsträckan (gröna staplar) för det scenario (3 eller 4) som resulterade i kortast körsträcka jämfört mot de verkliga skotningssträckorna (orangea markörer) redovisat för alla 13 objekt.

På trakt nr 9 var den verkliga körsträckan kortare än modellens förslag. Orsaken till detta är att modellen mer frekvent undviker körning i fuktig terräng (Figur 8).



Figur 8. Trakt nr 9; avläggs- och basvägsförslag från scenario 3 (rosa) samt körloggar (svart) och avlägg (röd trekant) från verklig skotning. Den verkliga körsträckan var i detta fall kortare än optimeringsförslaget. Orsaken till det är att modellens förslag undviker de fuktiga stråken.

En fältinventering gjordes för att bekräfta modellens beräkningar. Anledningarna till att modellens förslag var kortare än den verkliga avverkningen berodde dels på att modellen valde två avlägg medan avverkningen var utförd med ett avlägg, dels på att modellen valde andra placeringar för avläggen. Vid en närmare granskning i fält konstaterades att optimeringens avläggs- och basvägsförslag var fullt fungerande. De bakomliggande orsakerna till avläggens valda placeringar och antal var följande:

- Markägarens krav och sociala aspekter styrde valet av avläggsplatser
- Avlägget fick inte placeras på grannfastigheten
- Vägens bärighet och framkomlighet var begränsad
- Två avlägg på två olika vägar hade orsakat en mer ineffektiv vidaretransport av virket

Körning i fuktig och kuperad terräng

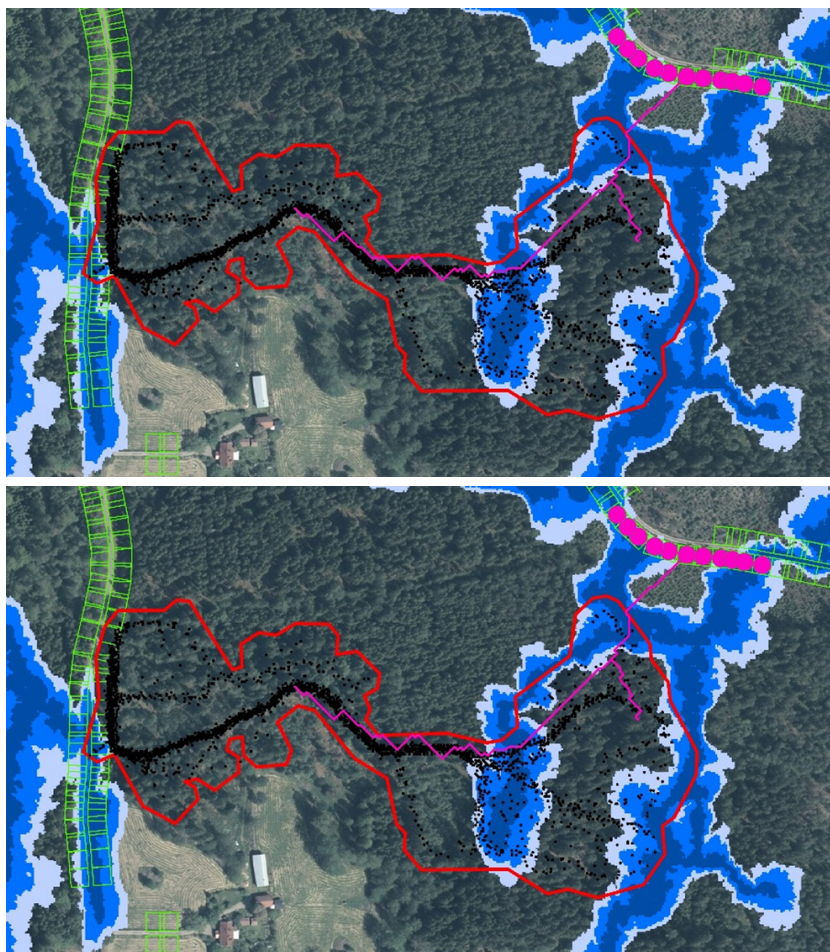
Basvägskörning i fuktig och kuperad terräng var mer frekvent i verkligheten än i modellens förslag. Det gällde för samtliga scenarion där den största skillnaden var för körning i sidolut. Jämförelserna i tabell 5, summerat för samtliga 13 objekt, visar att andelen körning i fuktig terräng blir lägre om två avlägg används istället för ett. Ett exempel på detta visas i figur 9.

Tabell 5. Andel basvägskörning i fuktig och kuperad terräng (sido- och framåt-bakåtlutning) för de olika scenariona samt för den verkliga skotningen.

Scenario	Volym	Avlägg	Fuktig terräng (vatten inom 0-0,25 m från marknivån)	Framåt-bakåt lutning > 11 %	Sidolutning > 11 %
1	SGD	1	0,042	0,033	0,008
2	SGD	2	0,047	0,019	0,009
3	Hpr	1	0,088	0,051	0,018
4	Hpr	2	0,066	0,025	0,008
5	Hpr	givna	0,045	0,022	0,012
3/4	Hpr	1/2	0,066	0,027	0,008
Skotning	Hpr		0,083	0,040	0,074

Optimering med givna avlägg (scenario 5) jämfört med verklig skotning visar att modellen väljer vägar som undviker fuktig terräng i högre utsträckning än i den verkliga skotningen.

När det bästa scenariot i optimeringen väljs (Scenario 3 eller 4) blir det mer körning i fuktig terräng än vid scenario 5, men optimeringen leder till 4 km kortare total körsträcka (från tabell 4).



Figur 9. Resultat trakt nr 2. Den övre bilden visar avläggs- och basvägsförslagen med ett avlägg (scenario 3) och den nedre med två avlägg (scenario 4). I båda bilderna visas den verkliga skotningen i svart.

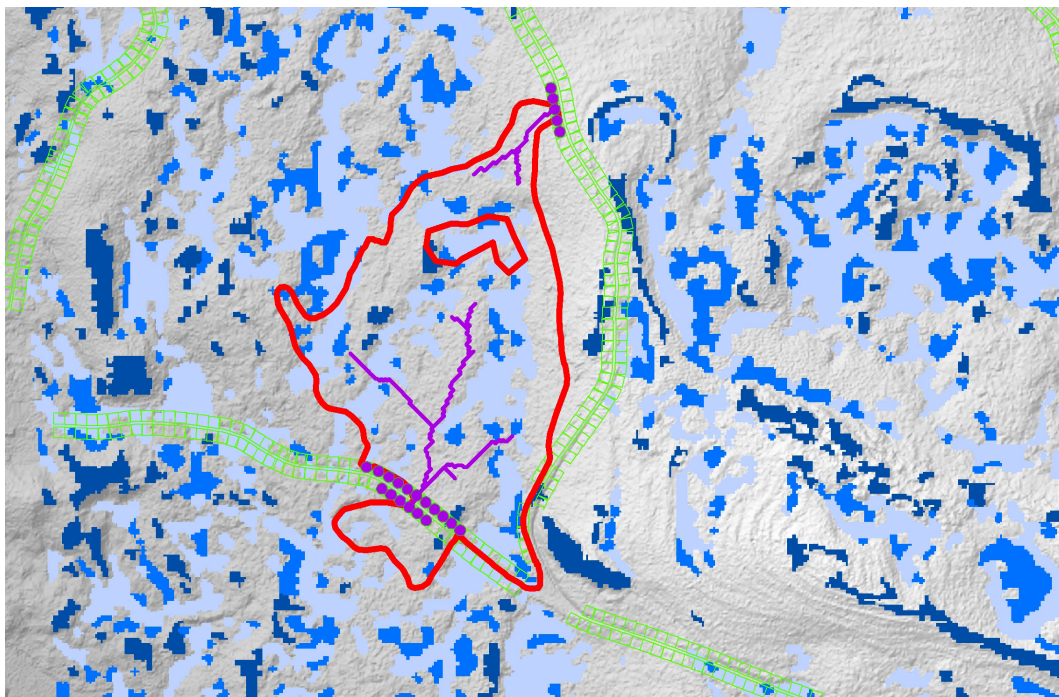
FALLSTUDIE 2

Användbara avläggs- och basvägsförslag

Samtliga avläggs- och basvägsförslag som genererades för de tio trakterna ansågs vid fältbesöken vara fullt fungerande. Ett exempel som visar skillnaden mellan ett och två avlägg beskrivs i figur 10. I sju av fallen valdes något av basvägsalternativen ut och planerades in som basväg till avverkningsen. För två av trakterna fanns befintliga basvägar från tidigare gallring, som valdes istället för optimeringsalternativen. Den ena anslöt till optimeringens basvägsförslag inne i trakten och den andra anslöt till ett av optimeringarnas avläggsförslag.

En basvägssträckning gick rakt över en hustomt och valdes bort för att den av sociala skäl ansågs olämplig. Av samma anledning valdes tillhörande avlägg också bort. Enligt kartdata (Tabell 1) låg hustomten på skogsmark vilket förklarar avvikelserna.

Det förekom fuktig mark som basvägen passerade som inte fanns med i markfuktighetskartan.



Antal avlägg	Antal lass	Arealvägt medel-skotningsavstånd (m)	Volymvägt medel-skotningsavstånd (m)	Total körsträcka (km)	Tid (h)
1	120	183,3	250,1	64,4	102,6
2	118	139,6	198,3	51,9	98,2

Figur 10. Ett lösningsförslag som valdes på en av trakterna; Alternativ 2 med två avlägg och tillhörande basvägar. Modellen undviker körning i fuktig terräng och genom att två avlägg används undviker man att korsa blötare partier. På denna trakt kortas den totala körsträckan från 64,4 till 51,9 km med två avlägg istället för ett, en minskning på ca 15 km.

Diskussion

Denna studie visar hur geodata kan användas för att stödja en optimeringsalgoritm för utplacering av lämpliga avlägg samt basvägsdragning. Modellen föreslår ett eller två avlägg. Vid större avverkningar där fler än två avlägg krävs måste avverkningen delas upp för att modellen ska fungera. En sådan uppdelning sker oftast i praktiken för större trakter redan idag, där närliggande delområden utgör en större trakt.

I våra fallstudier var trakterna relativt små och modellen gick snabbt att köra. Vid större trakter tar modellen lite längre tid, men eftersom den kan köras i förväg för ett antal trakter lär inte tidsåtgången vara kritisk.

Vid implementering av modellen finns flera alternativ att förkorta optimeringstiden.

Modellen för skotningen använder endast ett sortiment som körs med fulla lass, vilket är en förenkling mot den verkliga skotningen med flera olika sortiment som ibland samlastas. Samtidigt strävar skotarförare alltid efter fulla lass varför avvikelserna mot verkligheten inte är stor.

Fallstudien i Växjö genomfördes i en tid av omfattande granbarkborreangrepp. I något fall kan det ha påverkat hur skotningen gjordes eftersom det fanns risk för att industrileveranserna kunde drabbas och att då ett visst sortiment prioriterades upp och skotades först. Det är dock svårt att se att det skulle haft någon betydelse.

Modellens resultat visade på en reduktion på 4 km över de 13 trakterna i fallstudie 1, Södra. De hade en medelstorlek på knappt 4 hektar. Det kommer att bli högre vinster med större trakter. I exemplet som visas för BillerudKorsnäs var reduktionen 15 km för en trakt.

Modeller som innehåller geodata är beroende av kvaliteten på indata. Markfuktighetskartan finns i flera varianter, men även den bästa ligger kring en noggrannhet på cirka 85 procent och det finns avvikelser som modellen inte hanterar. Speciellt viktigt i detta fall är geometrin på vägnätet eftersom modellen föreslår avläggszoner beroende på andra geodata.

I de två genomförda fallstudierna ska noteras att båda representerar relativt platta områden där det är lätt att hitta lämpliga avläggszoner. Samtidigt kan modellen för lämpliga avläggszoner modifieras lokalt som exempelvis i väldigt kuperade områden eller i områden med känd sämre väggeometri. Modellen för avläggszoner kan ju även modifieras med hänsyn till årstid. Det kan gå att lagra virke på jordbruksmark under höst eller vinter beroende av gröda. Studien visar dock på att de föreslagna avläggszonerna fungerar bra och förkortar skotningen. Gamla avlägg kan fungera alldeles utmärkt, men även vara galet placerade vilket modellen kan verifiera. Sker transport över annans mark måste överenskommelser träffas, men kan ändå vara motiverat när den totala skotningssträckan avsevärt kortas. Modellen ger statistik som kan användas som underlag för den typen av samråd. Det är även tänkbart att inkludera fastighetsgränser i en modell för mer dynamiska beräkningar i eller utanför den egna fastigheten.

Det är kanske möjligheten till att få fram förslag och nyckeltal för olika avläggs- och basvägsalternativ som är den stora fördelen med modellen. De kan användas i dialog med skogsägare och som underlag före fältinventering, vilket möjliggör för välgrundade beslut som effektiviserar drivningen.

Samtidigt finns anledning att fundera över hela logistikkedjan in till industrin så att inte nya avlägg blir svåra att nå och inoptimerar vidaretransport.

SLUTSATSER

Vi har utvecklat en väl fungerande metod för att identifiera avläggszoner som inkluderats i en modell för avläggs- och basvägsoptimering. Modellen använder nationellt tillgängliga indata och behöver bara kompletteras med beståndsavgränsningar. Modellen kan sedan finjusteras med tillkommande hänsyn eller tvingande passager, exempelvis överfarter över vattendrag.

Modellen bidrar till en ökad automation i skoglig planering med en beskriven modell som strukturerat hanterar hänsynstaganden till natur, kultur och vattenmiljöer.

Fortsatta utvecklingsinsatser skulle kunna inkludera en detaljerad trädslagskartering för att även fördela produkter till olika avlägg. Sedan kan det finnas regionala behov att justera vilka typer av lutningar som accepteras av modellen. I mer kuperade trakter kan modellen behöva använda sig av mer lutning.

Den utvecklade modellen kommer att användas i en pågående utveckling av en prototyp för beslutsstöd för operativ planering av skotningsarbetet (Skotstöd). I utvecklingen av Skotstöd kommer indata i form av skördarfiler att användas för att beskriva det tillgängliga virket på trakten som ska skotas ut. Vid planeringen av skotarens rutter är bland annat avläggens placering och utformning avgörande för detaljplaneringen av skotningsarbetet (i vilken ordning de olika sortimenten och volymerna ska skotas).

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. Skogforsk.
- Bergkvist, I., Friberg, G., Mohtashami, S. & Sonesson, J. 2014. STIG-projektet 2010–2014. Arbetsrapport 818–2014. Skogforsk.
- Flisberg, P., Rönnqvist, M., Willén, E., Forsmark, V. & Davidsson, A. 2021. Optimized positions of landings in forest operations. doi 10.1139/cjfr-2021-0032. Manuskript accepterat av Canadian Journal of Forest Research.
- Friberg, G. & Bergkvist, I. 2016. Så påverkar arbetsrutiner och markfuktighetskartor körskador i skogsbruket. Arbetsrapport 904–2016. Skogforsk. Uppsala.
- Murphy, P.N.C, Ogilvie, J. & Arp, P.A., 2009. Topographic modelling of soil moisture conditions: a comparison and verification of two models, European journal of soil science (16), p: 94–109.
- Nilsson, M., Nordkvist, K., Jonzén, J., Lindgren, N., Axelsten, P., Wallerman, J., Egberth, M., Larsson, S., Nilsson, L., Eriksson, J. & Olsson, H. 2017. A nationwide forest attribute map of Sweden predicted using airborne laser scanning data and field data from the National Forest Inventory. Remote Sensing of Environment, 194, 447-454.
- Rönnqvist, M., Flisberg, P., Willén, E., Frisk, M. & Friberg, M. G. 2020. Spatial optimization of ground based primary extraction routes using the BestWay decision support system. Canadian Journal of Forest Research, to appear, <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0238>.
- Skogforsk. 2013. Hur stort behöver avlägget vara? <https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2013/hur-stort-behoover-avlagget-vara/>. Nedladdat 2021-04-20
- Skogforsk. 2018. [Ny GIS-modell placerar avläggaren rätt](#) - Skogforsk. Nedladdat 2021-03-09.
- Trafikverket. 2020. Upplag av virke och skogsbränsle vid allmän och enskild väg. [100401 Upplag Av Virke DEC 2020 Vers 7.pdf \(ineko.se\)](#). Nedladdat 2021-03-09.
- Willén, E., Friberg, G., Flisberg, P., Andersson G., Rönnqvist, M., Westlund, K. & Jönsson, P. 2017a. Bestway – beslutsstöd för förslag till huvudbasvägar för skotare – Metodrapport. Arbetsrapport 932-2017. Skogforsk Uppsala.
- Willén, E., Friberg, G., Flisberg, P. & Andersson, G. 2017b. Bestway – beslutsstöd för förslag till huvudbasvägar för skotare. Demonstrationsrapport BillerudKorsnäs – Mellanskog. Arbetsrapport 955. Skogforsk.
- Willén, E., Friberg, G., Flisberg, P. & Frisk, M. 2017c. Bestway – beslutsstöd för förslag till huvudbasvägar för skotare. Demonstrationsrapport Södra. Arbetsrapport 959. Skogforsk.
- Willén, E. Davidsson, A., Flisberg, P., Frisk, M. & Rönnqvist, M. 2019. Beslutsstöd för förslag till huvudbasvägar i slutavverkning. Demonstrationsrapport Södra Skogsägarna. Rapport 1020. Skogforsk.