



Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för skogsvetenskap

Institutionen för skogens produkter, Uppsala

**En analysmetod för att optimera skotning mot
minimerad körsträcka och minimerad påverkan
på mark och vatten**

*A method to optimize forwarding towards minimized
driving distance and minimized effect on soil and water*

Gustav Friberg



Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för skogsvetenskap

Institutionen för skogens produkter, Uppsala

**En analysmetod för att optimera skotning mot
minimerad körsträcka och minimerad påverkan
på mark och vatten**

*A method to optimize forwarding towards minimized
driving distance and minimized effect on soil and water*

Gustav Friberg

Nyckelord: Skotning, skog, DTM, DTW, optimering, planering

*Examensarbete, 30 hp Avancerad nivå i ämnet företagsekonomi (EX0753)
Jägmästarprogrammet 09/14*

*Handledare SLU, inst. för skogens produkter: Oscar Hultåker
Examinator SLU, inst. för skogens produkter: Matti Stendahl*

Sammanfattning

Teknikutvecklingen i skogsbruket har under senare år avstannat och det finns en stor förväntan på nästa ”tekniksprång”. Samtidigt är debatten om skador på mark och vatten i skogsbruket högaktuell.

Denna rapport behandlar möjligheten att kunna öka effektiviteten i skogsbruket samtidigt som hänsyn tas till mark och vatten. Genom att använda flygburen laserskanning (LiDAR) och digitala terrängmodeller (DTM) har analyser över vattenflöden kombinerats med optimeringar av skotarens körvägar. Kombinationen ger möjlighet att planera ett optimalt skotningsarbete för en slutavverkning utefter vart på trakten vatten potentiellt kan finnas och även vart på trakten virkesvolymen finns. Förebyggande åtgärder mot körskador på mark och vatten kan på så sätt också planeras i förväg.

Denna studie är en fallstudie av två slutavverkningstrakter på vilka det gjordes fyra scenarier för hur skotningen skulle utföras. Tre av scenarierna optimerades avseende att minimera nyckeltalen körsträcka, medelskotningsavstånd, tidsåtgång och kostnad medan ett scenario fick representera den riktiga skotningen där samma nyckeltal hämtades från verkligheten. Skillnaden mellan de optimerade scenarierna utgjordes främst av olika placeringar av avlägg, körvägar och överfarer över vatten. Jämförelser mellan dessa och det scenario som representerade det verkliga utförandet kunde sedan göras.

I medeltal kortades körsträckan för de optimerade alternativen på första trakten med 22,4 procent och den andra trakten med 18,8 procent, jämfört med det verkliga skotningsförfarandet. De övriga nyckeltalen medelskotningsavstånd, tidsåtgång och kostnad håller samma relativa förbättring. Dessa uppskattades nämligen med körsträckan som en grundparameter.

Vidare utveckling bör vara att utveckla en optimering som utöver körsträckan även ger tidsåtgångar och kostnader för en skotares arbete. Kan detta erhållas blir beräkningar och realistiska jämförelser mellan skotningsalternativ möjliga att utföra. Först då kan en optimering av en skotares arbete börja göras i sin rätta bemärkelse.

Idag kan optimeringen ge lämpliga placeringar av huvudvägar för skotaren vilket visserligen kanske kan kallas för en optimering även om lösningen inte utgör optimum.

Nyckelord: DTW, DTM, skotning, ruttoptimering

Abstract

Technological development of Swedish forestry operations has in recent years decreased, leaving the forest industry waiting for more. Public discourses are contemporary concerning damages on soil and water caused by forestry operations. This study aims to make forestry operations more cost-effective while taking into account the forestry sectors overall goal to decrease damages on soil and water.

This case study used airborne laser (LiDAR) and digital terrain models (DTM) to analyze and map water flow. Routes of forwarders were optimized aiming to minimize the key indicators total driving distance, average forwarding distance, the time and costs. The study included two harvesting sites with four harvesting scenarios each. The first scenario represented the actual forwarding while the next three scenarios were optimized with aim to minimize the key indicators. Differences among the scenarios included placing of roadside storage, placing of machine trails and placing of water crossings. The scenarios served as base for comparative analyses.

Usage of the optimization showed an average decrease of the total driving distance of 22.4 and 18.8 percent for the two harvesting sites respectively. The other key indicators showed equal improvements. Areas sensitive for damages on soil and water were completely avoided in the model and minimized the ground impact.

The result shows that usage of LiDAR and DTM can simplify the placing of logistical important crossings leading to more cost-effective harvesting. Further development of models as this, should aim to display time and costs for the forwarder. Models as such could generate the possibility to compare different forwarding routes before the forest operations take place, and fully optimize the forwarding operations.

Keywords: DTW, DTM, forwarding, route optimization

Förord

Efter fem års studier till Jägmästare vid SLU känns arbetslivet med nya utmaningar lockande. Jag har trivts med min utbildning och den personliga utveckling jag fått vara med om har varit spännande. Jag vill rikta ett stort tack till Isabelle Bergkvist på Skogforsk som gett mig möjligheten att göra ett examensarbete inom ett område jag tycker är intressant och utmanande! Du har varit ett viktigt bollplank i synnerhet under examensarbetet men också under hela min utbildning. Stor tack Oscar Hultåker vid SLU för saklig och motiverande handledning genom arbetet och pedagogiska förklaringar av teori! Stort tack Patrik Flisberg för all optimering du gjort och de grundliga och utförliga diskussioner som du tagit dig tid till.

Jag vill även tacka alla de personer som under arbetet hjälpt mig med att besvara frågor och att samla in data, utan all den hjälpen hade jag inte kunnat genomföra arbetet.

Uppsala, Juni 2014
Gustav Friberg

Innehållsförteckning

Sammanfattning

Abstract

Förord

Innehållsförteckning	5
Inledning.....	7
Bakgrund	7
Begrepp	7
Skogforsk	8
Drivningskostnader	8
Tidigare forskning	9
<i>Internationell forskning</i>	9
Problemställning.....	9
Syfte	10
Frågeställningar	10
Avgränsningar	10
Litteraturgenomgång	11
Vattenkartor	11
Optimering av drivningsvägar	12
Metod	14
Fallstudie	14
<i>Fördelar med fallstudie</i>	14
<i>Nackdelar med fallstudie</i>	14
Surveyundersökning	15
<i>Fördelar med surveyundersökning</i>	15
<i>Nackdelar med surveyundersökning</i>	15
Val av studiemetodik.....	15
<i>Motivering av studiemetodik till denna studie</i>	16
Objekturval.....	16
<i>Relevanta objekt</i>	16
Försökstrakterna	17
<i>Trakt 1</i>	17
<i>Trakt 2</i>	18
Arbetsgång	19
<i>Skapa en vattenkarta över objekten</i>	20
<i>Identifiera känsliga områden och hänsynsområden</i>	21
<i>Skapa ett fullständigt traktpaket för optimering</i>	21
<i>Traktens struktur</i>	22
<i>Optimera skotningen</i>	23
<i>Jämföra nyckeltal och urskilja det lämpligaste drivningssättet</i>	28
Litteratursökning	29
Etiskt förhållningssätt.....	30
Datasäkerhet	30
Möte med maskinförare och fältpersonal	31
Kartmaterial.....	31
Resultat	32
Utförande av försökstrakter.....	32
<i>Trakt 1</i>	32
<i>Trakt 2</i>	35
Uppställningsplatser	38
Genererade körvägar	39
<i>Trakt 1</i>	39

<i>Trakt 2</i>	40
Körsträcka och tidsåtgång	41
<i>Trakt 1</i>	41
<i>Trakt 2</i>	42
Resultatanalys.....	44
Diskussion	46
Slutsats och förslag på vidare forskning	49
Slutsats	49
Vidare forskning.....	49
Referenser	50
Bilagor	52

Inledning

Bakgrund

En av svenskt skogsbruks kärnfrågor är hur transport från skog till industri ska optimeras utifrån lägsta kostnad och minsta miljöpåverkan. Skogsbranschen är transportintensiv, både avseende lastbilstransporter med stora avstånd mellan råvara och industri, men även avseende maskinarbetet på en enskild avverkningstrakt. Detta innebär att optimeringsproblem för transporter är en del av vardagsarbetet såväl i drivning som i vidaretransport och små förbättringar leder till stora besparingar. Traditionellt är det transporten på bilväg, timmerbilar och lastbilar, som har varit i fokus för optimering, men ny teknik samt framsteg inom de traditionella områdena har ökat fokus mot drivningen av stock på avverkningar och hur transportförbättringar kan minska kostnader även i råvaruförsörjningen. GPS-tekniken har möjliggjort geografisk datainsamling på ett sätt som tidigare inte var möjligt. I realtid kan data insamlas för att sedan användas till analys och som grundmaterial för utveckling

Att med hjälp av fjärranalyser (SLU, 2014) inspektera och beräkna virkesförråd och beståndsegenskaper har under många årtionden varit attraktivt för skogsbruket. En råvara som finns utbredd över stora geografiska områden är svåröversiktlig vilket får till följd att kvalitativa kartmaterial är ovärderliga för det arbete som skall utföras. Flygbildsteknik har sedan 1930-talet används för att skapa olika typer av kartunderlag och sedan 1970 har Lantmäteriet samlat in satellitbilder över Sverige (Lantmäteriet, 2014). Holmgren (1995) beskriver redan år 1995 att skogsbruket kan gynnas av att använda en pixelvis indelning av skogsbestånden istället för att använda den administrativa indelningen man hävdar kommer från af Ström (1822). Utnyttjandet av GPS och flygbildsteknik nämns som fördelaktiga medel för att erhålla information om skogstillståndet samt för olika planeringssyften.

En nationell laserskanning med flygburen laser inleddes under år 2012 (Lantmäteriet, 2014). Detta har uppmärksammats hos flera skogliga aktörer och förväntningarna på det nya materialet är höga. Man tänker sig att skoglig information effektivt kan erhållas ur datat och att analyser av olika slag kan utföras och bli noggrannare och mer kostnadseffektiv i framtiden. Jämfört med mer konventionella metoder som fältinventering.

En annan fråga som uppmärksammats för skogsbruket de senaste åren och blivit till en av de viktigaste är den påverkan som skogsbruket gör på mark och vatten. Att minimera påverkan och undvika körsador är nu något som hela branschen måste jobba med. Detta märks bland annat genom en branschgemensam markskadepolicy som tagits fram (Berg et al. 2010). Att använda laserskanningen till att förebygga skador på mark och vatten är därför ett intressant användningsområde.

Begrepp

Tabell 1 listar begrepp för förtydligande och förståelse under läsningen av denna rapport. I de fall som begreppet har funnits i skogsencyklopedin (Skogsencyklopedin, 2014) har den definitionen används och refererats till. I annat fall har en beskrivning av ordet gjorts av författaren själv.

Tabell 1. Begreppslista för förståelse av rapporten

Begrepp	Förklaring
Avlägg	Plats där rundvirke hopsamlas för vidaretransport (Skogsencyklopedin, 2014)
Basväg	Åtkomstväg för utforsling av virke. Vägarna görs ofta jämna och breda för att tillåta snabb körning med fullastad skotare (Skogsencyklopedin, 2014)
Drivning	Avverkning och utforsling av virke från skog till bilväg eller annan transportled (Skogsencyklopedin, 2014)
GPS-logg	De registreringar som en GPS gör kontinuerligt under en tidsperiod
Körväg	Samlingsnamn för vägar för utforsling av virke.
m³fub	Avser verklig volym av stam eller stamdel exklusive bark (Skogsencyklopedin, 2014). Utskrivet: kubikmeter fast under bark.
Ortofoto	Fotografi där den centralprojektiva bilden korrigerats (Skogsencyklopedin, 2014)
Pixel	Ett kvadratisk bildelement som innehåller ett värde. Många pixlar ihop utgör en vanlig bild.
Skotare	Fordon avsett för terrängtransport av helt uppburet virke (Skogsencyklopedin, 2014)
Skördare	Skogsavverkningsmaskin som utför såväl fällning som upparbetning (Skogsencyklopedin, 2014)
Trakt	Benämning på viss del av skogsområde, ofta i betydelsen åtgärdsenhet (Skogsencyklopedin, 2014)
Traktdirektiv	Avverkningsorder med information om arbetet
Överfart	En konstruerad bro över vattendrag eller andra känsliga partier i naturen, vanligtvis tillverkad av ris och/eller stockar

Skogforsk

Denna rapport är ett examensarbete i samarbete med forskningsstiftelsen Skogforsk (Skogforsk, 2014). Skogforsk jobbar med forskning och utveckling åt den svenska skogsbranschen och skall driva projekt relevanta för näringen. Under senare år har problematiken med körskador på mark och vatten uppmärksammats vilket lett till landsomfattande insatser med utbildningar, krav på användande av hjälpmedel vid överfarter över vattendrag, den gemensamma policyn kring oacceptabla skador är ett annat exempel på åtgärd som gjorts (Berg et al. 2010). I kombination med effektivisering och produktivitetsökning inom drivning och vidaretransport utgör skonsamhet mot mark och vatten en stor del av den strategiska satsning som beslutats av skogsbruket och uppdragits åt Skogforsk att utföra.

Detta examensarbete genomförs integrerat med två projekt hos Skogforsk som syftar till att förbättra planering och informationskedjan i olika skogsbruksåtgärder. Det ena heter STIG (skoglig terrängplanering i GIS) och vars mål är att skapa bättre kartunderlag och tydligare rutiner i skogsbruket. Det andra projektet kallas BesT (Analysverktyg för värdering och optimering av olika drivningsalternativ) och syftar till att med hjälp av optimeringar placera ut körvägar över avverkningstrakter. Detta examensarbete är en del av båda dessa projekt.

Drivningskostnader

Drivningskostnaden i skogsbruket utgör olika andel av den totala kostnaden beroende på vilken ägarkategori virket kommer från. För skogssektorn är till exempel inköp av skogsråvara en oerhört tung post. Vid eget skogsinnehav får den kostnadsposten dock en annan innebörd än om det är köp från öppen marknad som gäller. Johansson (1998) presenterar kostnader i Svenskt skogsbruk och vid eget skogsinnehav är den totala kostnaden från planta till stock vid bilväg 182 kronor per m³fub i södra Sverige och vid köp 390 kronor m³fub. Råvaran har således en relativt stor inverkan. Om man bortser från att råvarukostnaden inte beaktas kommer drivningskostnaden att utgöra den i särklass största kostnadsposten med en andel av den totala kostnaden på över 50 % (Johansson, 1998).

Johanssons beräkningar stämmer relativt bra överens med uppgifter från Silversides & Sundberg (1988). Han visar att drivningen utgör 34,6 procent av de totala kostnaderna i ett svenskt skogsföretag. Brunberg (2012) visar i sina siffror att drivningen i södra Sverige upptar 62,8% av den totala kostnaden fram till bilväg vid eget skogsinnehav medan samma siffra i norra Sverige uppgår till 53,7%.

Studierna pekar mot att drivningskostnader är en kostnadspost som i hög grad påverkar det ekonomiska slutnettot för skogsbruket. Det betyder att kostnadsposten är relevant att beakta och rikta åtgärder mot vid avsikt att minska den totala kostnaden i skogsbruket.

Tidigare forskning

Skogforsk driver ett antal olika forskningsprojekt med syftet att minska skador på miljön samtidigt som förenkling och effektivisering av planerings- och drivningsåtgärder i skogsbruket kan göras (Mohtashami, 2011; Sonesson et al. 2012). Dessutom har examensarbeten vid SLU och KTH tangerat likartade områden som detta arbete berör.

Mohtashami (2011) har utvecklat en metod i GIS där en laserskannad terrängyta används för att erhålla skonsamma körvägar att skota ut virket på från en slutavverkningstrakt. Att undvika körning på känsliga områden är målet och författaren kommer i sina slutsatser fram till att GIS-verktyg är användbara verktyg för att analysera fram och visualisera skonsamma körvägar.

Wählberg (2012) har i sin studie utrett hur man med beslutstöd skall placera basvägar i terrängen samt erhålla ett medelskotningsavstånd utifrån dessa. Han använder modellen Mohtashami (2011) utvecklat som utgångspunkt i arbetet och utvecklar en ny modell som beräknar ett medeltransportavstånd. Wählberg (2012) fastställer i sin studie att ett beslutstöd kan användas för beräkning av medeltransportavstånd, som tar hänsyn till miljö och produktionskrav. Han menar också att ett beslutstöd kan användas som en grund vid skapandet av ett planeringsunderlag till maskin och personalresurser vilket kan leda till kostnadsbesparingar.

Internationell forskning

Internationellt finns forskning från Norge om att placera ut vägnät med optimeringar, Nils Egil Søvde (Søvde et al. 2013) presenterar en metod för att placera ut ett vägnät på en terrängyta med hjälp av en metaheuristisk metod. Konstaterandet är att metoden går att använda men den praktiska vinningen är svårbedömd eftersom forskning kring skotararbetes koppling till detaljerade terrängmodeller är begränsad.

Nils Egil presenterar även 2011 (Søvde et al. 2011) en modell för hur terrängtransport med tagen naturhänsyn kan utföras. Genom att ange olika begränsningar för hur avverkning i områden med naturhänsyn får gå till och med en algoritm som extraherar kortaste väg från bestämda punkter på avverkningen till avlägg likt Mohtashami (2011) erhålls ett vägnät för avverkningen.

Problemställning

En svårighet under drivningsarbete är att ta nödvändig hänsyn till natur, mark och vatten, samtidigt som effektivisering, kostnadsminimering och ökad konkurrenskraft står som ledord. Att sammanföra dessa förutsättningar är komplicerat och det är lätt att ett rationellt drivningsarbete drabbar nödvändigt hänsynstagande. Samtidigt kan den tagna hänsynen göra drivningsarbetet onödigt ineffektivt. Genom att kombinera tankegångarna hos Mohtashami

(2011) och Wählberg (2012) kan ytterligare en nivå i drivningsplanering nås. Genom att analysera både hänsynstagandet som Mohtashami (2011) eftersträvar och den effektiva basvägsutläggningen som Wählberg(2012) eftersträvar kan det visas att naturhänsyn och ett rationellt drivningsarbete går att kombinera.

Syfte

Syftet med studien var att jämföra nyckeltalen körsträcka, medelskotningsavstånd, tidsåtgång samt kostnad mellan olika scenarier för skotning, där den verkliga skotningen av ett försöksobjekt utgjorde ett scenario med normalt hänsynstagande till mark och vatten. De övriga scenarierna optimerades i dator med avseende att minimera nyckeltalen samtidigt som de inte tilläts köra på fuktig eller blöt mark.

Frågeställningar

1. Hur skiljer sig de optimerade scenarierna mot det verkliga scenariot avseende körd sträcka?
2. Vad blir den uppskattade tids och kostnadsförändringen för de optimerade scenarierna gentemot det verkliga scenariot?

Avgränsningar

En härledning av optimeringsmetodik och utredning av den görs inte i rapporten då syftet med rapporten är att fokusera på jämförelsen mellan scenarierna och inte optimeringsmodellen som sådan.

Litteraturgenomgång

Den litteratur som ligger till bakgrund för analyserna i studien presenteras under detta kapitel.

Vattenkartor

Olika metoder har använts för att i GIS extrahera vattenskikt och hitta blöta och torra partier på terrängytor (exv. Jenson, 1988; O'Callaghan & Mark, 1984). Gemensamt för modellerna är att de som input behöver ha en grid¹ med höjdvärden, denna grid kallas idag ofta för en digital terrängmodell (DTM). En DTM återger ett aktuellt markområde där varje cell har ett höjdvärde. Olika insamlingsmetoder för att erhålla detta raster kan tillämpas, en vanlig insamlingsmetod idag är att via LiDAR (flygburen laserskanning) samla in höjdinformation som kan skapa en DTM.

DTM'en utgör en digital modell av verklighetens markyta utifrån laserträffar, beroende på upplösningen och datainsamlandet blir DTM-skiktet av högre eller lägre kvalitet. Med kvalitet avses hur väl verkligheten är beskriven digitalt. Höjdförhållandet mellan cellerna i DTM-rastret kan utnyttjas för att simulera tänkta vattenflöden över ytan och på så sätt hitta blöta partier i landskapet (exv. White et al. 2012; Murphy et al. 2008; Jenson & Domingue, 1988). Ett användningsområde för dessa markfuktighetskartor är att vara underlag i skogsbrukets planering och drivning i syfte att minska påverkan på mark, vatten och miljö samt att förbättra produktiviteten. Genom att i förväg känna till känsliga blöta partier på en trakt kan allvarliga skador på dessa undvikas.

Det finns ett flertal metoder för att skapa vattenkartorna. Några grundsteg i metoderna kan dock ses som gemensamma. O'Callaghan & Mark (1984) presenterar en ofta använd arbetsgång för att få fram flödesnätverk för vatten. Författarna nämner att det är förvånansvärt få publiceringar inom området att processa vattenflöden från en DTM, vilket kan tyda på att detta är en då ny och eventuellt vägbärande metod som presenteras och därför en av de första flödesalgoritmerna. Grundstrukturen känns igen i flera olika arbetsmetoder som presenterats senare (exv. White et al. 2012; Murphy et al. 2008; Jenson & Domingue, 1988) vilket bör tyda på att metoden ger ett tillfredställande resultat. Skillnaderna mellan de olika metoderna utgörs i huvudsak av olika studiespecifika vinklar då resultatet skall användas för olika ändamål.

Murphy et al. (2011) jämför två vattenindex, "depth to water" (DTW) och "topographic wetness index" (TWI). TWI-indexet bygger på antagandet att ett område med ökat tillflöde och reducerad lutning ökar markens fuktighet. Dock brister TWI-indexet i flera olika avseenden och är känsligt för vilken indata som används och vilket användningsområde indexet skall användas i. Speglingen av fuktighetsgradienten från toppar till dalar är vag och kan inte generaliseras (op. cit.).

DTW-indexet bygger på hur högt varje pixel befinner sig från närmaste flödeskanal. En flödeskanal är ett parti i landskapet där mycket vatten rinner men behöver inte därför vara öppet vatten som en bäck. Flödeskanalen skapas från ett för ändamålet fastställt tillrinningsområde. Om tillrinningsområdet beslutas vara 1 hektar, kommer en flödeskanal skapas från det ställe där tillrinningsområdet uppgår till 1 hektar och sedan vidare i vattnets flödesriktning. Genom att analysera terrängen som omger flödeskanalen kan sedan potentiellt fuktig mark urskiljas. Platt terräng ger en större utbredning av den fuktiga maken medan

¹ Ett rutsystem över i detta fall ett geografiskt område där varje ruta/cell innehåller ett värde som i förhållande till de andra rutorna beskriver någon typ av relation.

kuperad terräng inte ger en lika omfattande utbredning av den fuktiga marken (Murphy et. al, 2011).

DTW-indexet är i jämförelse med TWI mer robust i avseendet att återskapa fuktiga markområden. Dock kompletterar indexen varandra väl när det gäller att återge vattenflöden genom landskap. För att återge vattenpåverkade markområden är DTW-indexet mer lämpat medan TWI-indexet lämpligare används för att återge öppna vattenflöden så som bäckar, dammar och sjöar (op. cit.).

Sammanfattningsvis visar studier att vattenkartor är användbara till att påvisa var i terrängen fuktiga områden finns, White et. Al (2012) hävdar att kartorna medverkar till ett ”överraskningsfritt skogsbruk” då de skogliga ingreppen kan planeras noggrannare i tidigare stadie. Jenson & Domingue (1988) förklarar att vattensimuleringar från DTM-skikt har visat sig användbara för att analysera vattenflöden och andra hydrologiska rörelser över en markyta. Även om processerna kan se aningen olika ut underlättar samtliga i någon grad grundproblemet att undvika vattensjuka områden vid skogsbruksåtgärder.

Optimering av drivningsvägar

Att i skogsbruket veta vilken sträckning på körvägen som är mest optimal att låta virket transporteras längs, från platsen där det avverkas till avlägget vid närmaste skogsbilväg är ett komplext optimeringsproblem. Fortfarande idag görs de flesta besluten kring terrängvägarnas sträckning baserat på maskinförarnas erfarenhet. Eld (1970) uppger att föraren är en avgörande faktor och delar in skickligheten i två delar,

- planering av trakten i detalj och helhet
- krankörningsteknik

Problematiken kring planering och utförande av effektivaste, mest optimala drivning är således inte någon nyhet för svenskt skogsbruk.

Om fokus riktas mot hur planeringsarbetet vid skotning går till enligt (Eld, 1970) nämns fyra huvudsakliga beståndsdelar.

- val av transportvägar
- val av transportsortiment
- val av laststorlek
- val av uppställningsplatser för lastning

Beslut med koppling till dessa beståndsdelar anges ofta, även idag vara faktorer med relativt hög påverkandegrad för skotningens effektivitet, kostnad, tidsåtgång eller annat nyckeltal som väljs till utgångspunkt (exv. Silversides & Sundberg, 1988; Eld, 1970; Nurminen, 2006.). Tillsammans utgör de en helhet i planeringsprocessen med att få virket från avverkningsplats till en väg där en lastbil har möjlighet att hämta upp virket. Eftersom drivnings- och transportkostnader utgör en stor andel av totalkostnaden i skogsbruket (Brunberg, 2012) är det önskvärt att rikta resurser mot att förbättra och utveckla planeringsarbetet och därigenom möjliggöra minskade kostnader och högre produktivitet. Matematiska optimeringar av planering, drivning och vidaretransport innebär dock stora svårigheter eftersom skogsbruk bedrivs under förhållanden som varierar mycket både vad avser terrängförutsättningar, arbetsätt och företagskultur. Ofta har tekniken och begränsad tillgång till indata satt gränser

för avancerade analyser. Istället har rutiner och arbetssätt använts vilket idag fortfarande finns djupt rotat i hela skogssektorn.

Möjligheten till snabbare datorer och även förbättring av GPS-teknik gjorde dock att det under 1990-talet utvecklades modeller för hur skotarplanering skulle kunna göras mer optimalt med datormodeller (Arvidsson et al. 1999). Ett föreslaget arbetssätt kombinerat med en matematisk modell presenteras av Carlsson et al. (1999) och använder indata med vars hjälp ett nätverk av transportvägar föreslås. Enskilda körrutter för skotaren kan sedan extraheras utifrån nätverket. Indataparametrarna är som följer:

- skotarens lastvolym
- antal sortiment i stockhögar
- volymer av respektive sortiment
- geografisk placering av stockhögar

Modellens fyra indataparametrarna svarar direkt mot de beståndsdelar Eld (1970) presenterade som viktiga vid drivningsplanering av virke med skotare. Även Skogforsk presenterar en modell (Arvidsson et al. 1999) för hur skotarens arbete kan optimeras med hjälp av ruttkörning.

Skördarens körvägar är i båda studierna tänkta att utgöra ett nätverk av vägar där skotaren har möjlighet att ta sig fram. Längs körvägarna finns virkeshögarna utplacerade efter sin geografiska position med information om antal sortiment, volym etc. Optimerade rutter kan då skapas utifrån den givna informationen.

Flisberg et al. (2007) har utvecklat en modell som bygger på en kontinuerlig GPS-registrering av skördarens position. Med GPS-registreringen kan både körvägar och uppställningsplatser där maskinen står still och bearbetar träd urskiljas. Kombinerat detta sedan med apteringsinformation för varje uppställningsplats skapas en virtuell virkeshög där specifik information om sortiment, volym och position kan lagras. Den kontinuerliga GPS-registreringen bildar ett vägnät av körvägarna och virkeshögarna utgör skotarens ”hållplatser” vilket sammantaget utgör ett klassiskt ruttoptimeringsproblem.

Metod

Metodkapitlet syftar till att ge läsaren en förståelse för hur studien utförts samt att pålysa de svagheter och styrkor som studiens utförande har.

Upplägget av denna studie gjordes enligt fallstudiemetodik, en erkänd metodik som generellt används till studier där djup och specifika detaljer undersöks snarare än bredd och generaliserbara resultat (Denscombe, 2009). En annan möjlig studiemetodik kunde varit surveystudie (op. cit.).

Fallstudie

Att med fall studera och undersöka ett område är en relativt vanlig metod som används inom de flesta olika vetenskapsområdena (Yin, 2003). Fallstudier är en av de mest utmanande metodikerna att använda men ger samtidigt möjlighet att studera mer komplexa situationer och dilemman och utreda hur dessa påverkar och påverkas (op. cit.).

En fallstudie har till syfte att genom en mer omfattande studie av ett eller få objekt uppnå insikter som leder vidare till nya upptäckter, och att dessa insikter inte kunnat erhållas via en studie med en annan metod omfattande fler objekt t.ex. surveystudie (Denscombe, 2009). Det djup som är möjligt att uppnå gör enligt Denscombe (2009) att fallstudier tenderar att vara holistiska snarare än specifika och att processer och händelser i sig är det som undersöks, inte resultatet av dem.

Fördelar med fallstudie

Fallstudiens starka sidor är att undersökningen sker i objektets ”naturliga miljö/sammanhang” som faktiskt existerar. Som motsats finns experimentmetodik vilken generellt isolerar en specifik detalj som undersöks vid sidan av sitt naturliga sammanhang för att utreda dennes påverkan (Denscombe, 2009). En fallstudie ser istället till samtliga studerade faktorer påverkan och gör det möjligt att utreda den ofta komplexa frågan hur samspelet mellan dessa fungerar.

Fallstudier öppnar även för användning av flera datatyper och källor i studien. Genom olika typer av infallsvinklar och material ges förutsättning för att lyckas med den mer omfattande analys som kännetecknar fallstudien (op. cit.).

Denscombe (2009) anser metodiken som fördelaktig i studier där forskaren inte har så stort inflytande på de studerade händelserna. Betydelsen med studier i objektens naturliga miljö nämndes tidigare och är forskaren oförmögen att påverka denna av olika skäl är detta till studiens fördel då den eventuella observatörseffekten bör reduceras (op. cit.).

Nackdelar med fallstudie

De argument som talar emot fallstudiemetodik lyfter fram svårigheten att generalisera utifrån endast ett undersökt fall. Att påvisa resultatens överförbarhet även till andra fall kan vara problematiskt och bli kritiserat (op. cit.). Denscombe (2009) betonar vikten av en bred och öppen diskussion kring resultatens generaliserbarhet för att visa på likheter med andra typer av fall och att hjälpa läsaren att förstå hur resultaten kan vara överförbara.

Denscombe (2009) anger en rådande uppfattning om att fallstudier genererar mjuka data. Detta lär komma från det fokus på processer som en fallstudie har och kan vara helt obefogad

likväl som befogad (op. cit.). Oavsett är det viktigt att forskaren är medveten om denna uppfattning för att kunna bemöta den eventuella kritik som kan uppkomma.

Mer praktiska svårigheter med fallstudier som tillträde till miljöerna för studien samt att undvika en observatörseffekt vid utförande under en längre tid är också förekommande kritik (op. cit.).

Surveyundersökning

Att genom en övergripande ögonblicksbild beskriva eller kartlägga är det som brukar kallas för surveyundersökning (Denscombe, 2009). Detta är ingen utpräglad metod för datainsamling utan snarare ett strategiskt arbetssätt där det går att tillämpa olika metoder för insamling beroende av vad som ska studeras och hur det ska studeras. Grunden utgörs av en empirisk studie (op. cit.) där en mindre grupp från en population är tänkt att utgöra ett representativt urval. Enkäter via telefonintervjuer eller via post är förekommande tillvägagångssätt att nå ut till sin urvalsgrupp och målet är att erhålla svar från det tänkta antalet tillfrågade på samma fråga under så liknande omständigheter som möjligt (Bell, 2006). På så vis kan forskaren med studien jämföra svaren och fånga upp kännetecknande drag och meningsskiljaktigheter i frågan menar Bell (2006).

Surveystudier tenderar vara breda och omfattande på bekostnad av studiens djup och detaljrikedom, generellt är kvantitativa data förknippade med surveystudier även om detta inte är en regel (Denscombe, 2009).

Fördelar med surveyundersökning

De data som erhålls i en surveyundersökning utgår från empiriska undersökningar och har en omfattande insamling vilket inte sällan refereras som ett säkert datamaterial inom forskning (op. cit.). Denscombe (2009) belyser även vikten av att insamlingsmetodiken generellt sker metodiskt och målmedvetet för att kunna klassa datat som ”säkert”. En stor datamängd produceras ofta vilket tillsammans med en brett urval för insamling skapar ett relativt generaliserbart resultat som eventuellt kan användas och implementeras under fler omständigheter än de precis studiespecifika. Surveystudier med enkäter som insamlingsmetod kan med fördel göras mot grupper av objekt som med andra studiemetodiker kan vara svåra att nå. Denscombe (2009) ger exempel som, personer i krigshärjade områden möjliga att nå via internet, handikappade människor, personer i fängelse etc. Surveyundersökningar är dessutom jämfört mot andra studiestrategier relativt billiga att utföra (Denscombe, 2009).

Nackdelar med surveyundersökning

Den stora datamängd som ofta är målet med en surveyundersökning ger inte bara fördelar, den stora mängden kan också skapa problematik. Det fokus som finns på att erhålla bred data reducerar samtidigt det djup som är möjligt att uppnå i studien (op. cit.). Ett stort datamaterial tar tid att analysera på djupet vilket gör att surveyundersökningar sällan tar upp kvalitativa aspekter eller detaljinformation (op. cit.). En osäkerhet uppstår dessutom lätt kring de svarandes uppriktighet om en metod som enkätundersökning eller liknande tillämpas, insamlingen blir svårkontrollerad och de nödvändiga resurserna att göra detta är sällan prioriterade (op. cit.).

Val av studiemetodik

Bell (2006) beskriver att metodiken som används i en studie skall bero av studiens kontext och särart, att tillämpa generella regler för när en eller annan metodik skall användas innebär svårigheter. Snarare bör svagheter och styrkor hos de olika metodikerna beaktas för att

fastställa den mest lämpade metodiken för det specifika fallet. Denscombe (2009) uttrycker detta ”Det avgörande för bra forskning är att de val man gör är förnuftiga och att de är explicit uttryckta i forskningsrapporten”. Med detta betonar författaren också att avgränsningar i arbetet skall vara tydligt angivna och väl fastställda.

Motivering av studiemetodik till denna studie

Att tillämpa fallstudiemetodik för denna studie grundade sig i flera specifika egenskaper. Fallen som studerades består av ett landskap², vilket avgränsade möjliga tillvägagångsätt för att studera dem. Det var praktiskt omöjligt att flytta studieobjekten eller isolera dem vilket inte heller var önskvärt eftersom det var just arbetet i den naturliga miljön som skulle studeras.

Naturliga miljöer är av komplex karaktär, sällan är den en enskild faktor som påverkar, snarare är det flera samverkande faktorer som skapar ett fenomen. Således är inte resultatet intressant utan det är processen som leder till resultatet som i denna studie står i fokus vilket direkt talar för en fallstudiemetodik (Denscombe, 2009).

Denscombe (2009) belyser att fallstudier vanligtvis riktar in sig mot ett enda studieobjekt utan att detta är någon regel. Denna studie har just fler än ett studieobjekt, var och en som ett eget fall. Att beakta är risken att resultaten generaliseras i en för omfattande och därmed för fallstudie ej lämplig grad. En tydlig och omfattande diskussion kring generaliserbarheten bör därför hållas som säkerhet för att undvika en generalisering samt feltolkning av resultaten.

För att uppnå en helhetsbild i studien behövdes olika typer av datamaterial insamlas från flera olika källor vilket är tillämpligt i, och dessutom förespråkas för en fallstudie, generaliserbarheten har eventuellt påverkats av att olika datatyper används för att utröna en helhetsbild av fallen.

Objekturval

Litteratur som behandlar urvalsmetodik vid skogliga studier är sparsam. Kardell (1993) beskriver dock ett urval där relativt specifika kriterier tillämpas, vilket liknar urvalsproblematiken i denna studie. Materialet Kardell (1993) utgår från är studieobjekt funna i naturen vid andra studier eller privat friluftsliv. Därifrån valdes sedan studieobjekten ut efter de kriterier som upprättats för att möjliggöra studien.

En tänkt idealbild av fallet eftersträvas, eventuella studieenheter med avvikelser, antingen från det tänkta ideala objektet för studien eller från de angivna kriterierna elimineras vid urvalet. Således blir objekten valda för att de inte är avvikande i för hög grad. Detta överensstämmer med urvalsprincipen ”Den typiska undersökningsenheten” (Denscombe, 2009). Generaliserbarheten av datat kan i fallet inte likställas med en stor slumpvald datamängd även om vissa delar oftast kan göras generella i visst avseende. Eftersom man tänker sig ett ”normalt” objekt att sträva emot vid urvalet, kan relevanta delar hänvisas mot vissa faktorer även på andra liknande objekt. Genom att utgå från så få avvikande faktorer som möjligt vid urvalet ges förutsättning för ett användbart resultat.

Relevanta objekt

De objekt som ansågs relevanta för denna studie var avverkade slutavverkningar som skördats och skotats med följande indata:

² Med landskap avses ett geografiskt landområde, inte landskap från den svenska administrativa indelningen

- GPS-logg över skördarens uppställningsplatser vid bearbetning.
- GPS-logg över skotarens körning
- Laserskannad terrängyta i form av DTM
- Traktdirektiv
- Shapefiler med information om:
 - Bilvägar
 - Föreslagna avlägg
 - Hänsynsområden
 - Eventuella planeringsförslag
 - Gränser för den aktuella trakten samt fastighetsgräns

Utöver kraven på data som behövde finnas för varje objekt fanns det också fördelar om objektet tangerade eller omslöt en hänsynsyta som skulle skonas från maskinkörning. Eftersom syftet med studien var att studera optimerad drivning med hänsyn som grundläggande faktor skulle objekt utan hänsynsområde vara mindre relevant att studera.

Urvalet av de studerade objekten lär dock inte påverkats av huruvida den nödvändiga informationen fanns tillgänglig eller inte och det var inte på det viset att endast en viss typ av objekt besatt dessa datatyper. Dock kan antagandet göras att de skogliga aktörer som försett sig med vissa av de krävda datatyperna var intresserade och innovativa aktörer då informationstypen var relativt ny vid skrivandets stund. Resonemang huruvida skötsel/drivningsmetodiker/geografiskt område skiljer sig nämnvärt hos dessa aktörer gentemot den generella skogsaktören i Sverige och om detta skulle påverka resultatet kan därför med fördel hållas.

Försökstrakterna

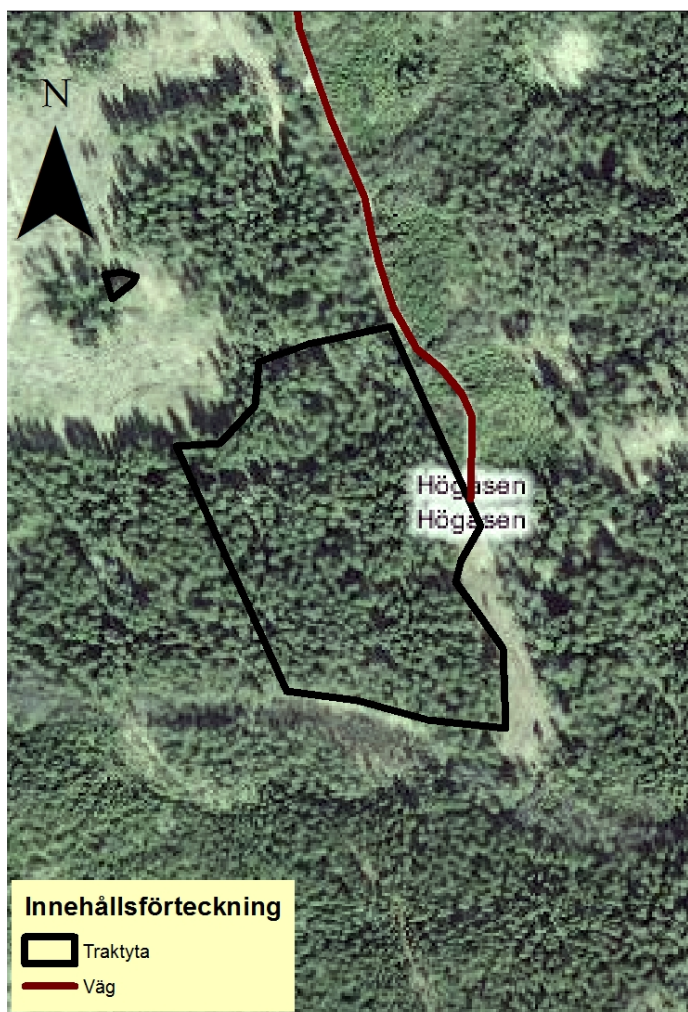
Studien baserar sig på två stycken avverkade slutavverkningsobjekt i Västergötland i Sverige vilka från nu benämns trakt 1 och trakt 2. Här presenteras kort lite information om försökstrakternas omfattning för att läsaren enklare ska kunna föreställa sig och bilda sig en uppfattning om dem.

Trakt 1

Trakten finns belägen i Västergötland i närheten av Vårgårda. Den är inte kuperad och en skogsbilväg tangerar hälften av traktens östra sida. Längs denna har avläggen placerats. Tabell 2 visar information om avverkningstrakten och Figur 1 visar trakten illustrativt.

Tabell 2. Basinformation om trakt 1

Areal	2,8 hektar
Avverkad totalvolym	1024 m ³ fub
Volym/hektar	343 m ³ fub/hektar



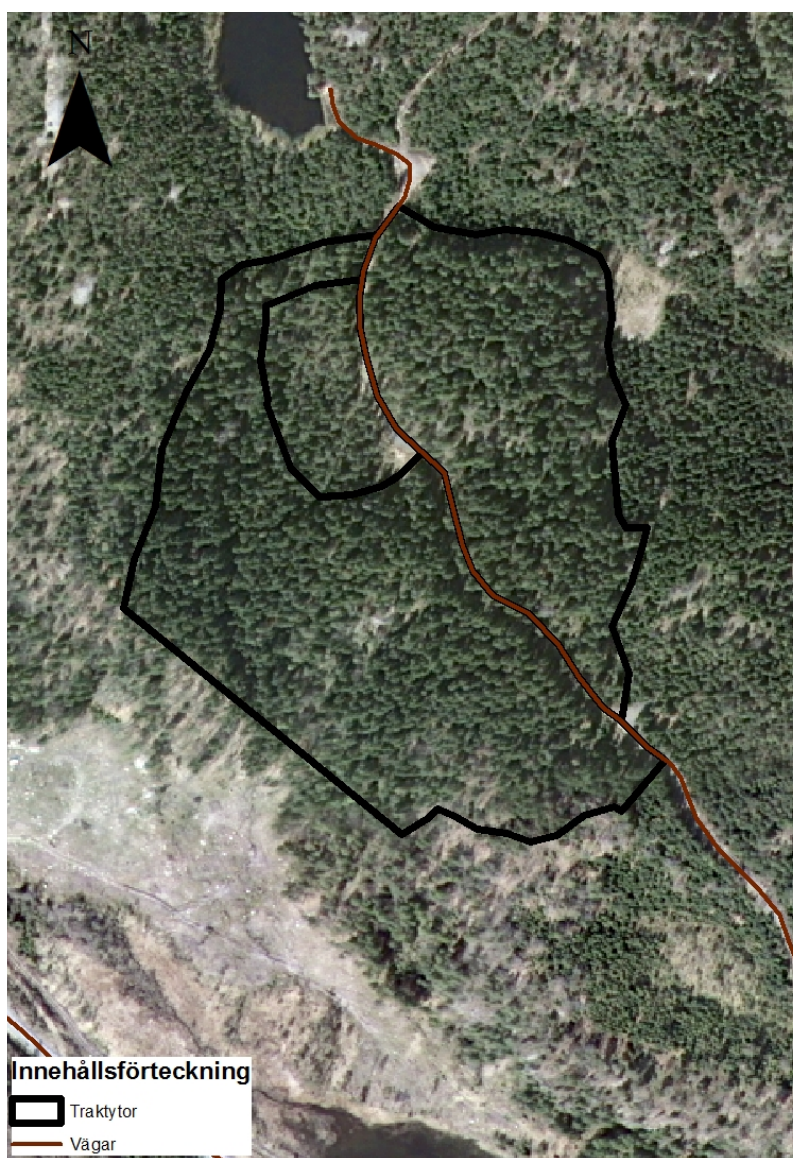
Figur 1. Trakt 1 med utritad väg och traktyta.

Trakt 2

Trakten finns belägen i Västergötland i närheten av Lilla Edet. Trakten är mycket kuperad och en skogsbilväg klyver trakten längs vilken avlägg har placerats. Ett större hänsynsområde finns i mitten av trakten där ingen avverkning utförts. Tabell 3 visar information om avverkningstrakten och Figur 2 visar trakten illustrativt.

Tabell 3. Basinformation om trakt 2

Areal	8,7 hektar
Avverkad totalvolym	1582 m ³ fub
Volym/hektar	182 m ³ fub/hektar



Figur 2. Trakt 2 med vägar och traktyta utritad, lila och röda linjer (streckade/kryssade ytor) skall ignoreras i denna studie. Hänsynsytor är inte utmärkt på denna bild.

Arbetsgång

Med hjälp av produktionsfilen från skördaren, DTW-karta, DTM-karta och övrig traktinformation skulle en fiktiv avverkningsplanering utföras. Avsikten är dock att det i framtiden inte är produktionsfilen från skördaren som används utan ett raster som beskriver volymfördelningen över trakten. Produktionsfilen ger likvärdig information fast i efterhand och därför används den till detta arbete. Arbetsgången såg ut som följer:

1. Skapa en vattenkarta över objekten
2. Identifiera känsliga områden och hänsynsområden.
3. Skapa ett fullständigt traktpaket för optimering
4. Traktens struktur
5. Optimera skotningen
6. Jämföra nyckeltal

Skapa en vattenkarta över objekten

Med utgångspunkt i Murphy et. al. (2011) valdes indexet DTW för att skapa vattenkartan till denna studie. I studien är de vattenpåverkade markområdena intressantare att hitta än de öppet vatten. Vattenpåverkade markområden är ofta högaktuella områden att undvika körskador i samtidigt som de ofta kan vara svåra att få omfattning om vid fältinventering.

De indata som använts till att analysera fram ett DTW-index är en DTM med upplösningen 1x1 meter. Till analysen användes ESRI's ArcMap i vilken en modell byggts. Bilaga 1 visar en utskrift av modellen från ArcMap. Nedan beskrivs de huvudsakliga processtegen i DTW-analysen:

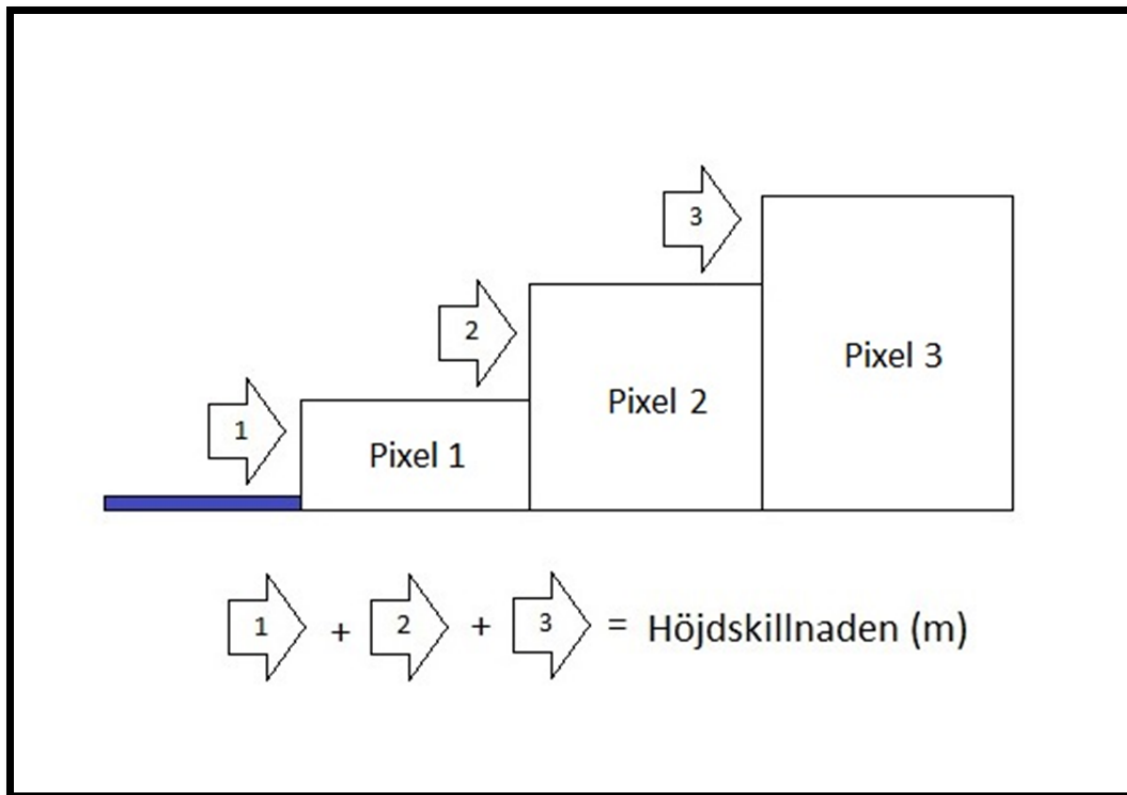
- DTM-skiktet erhålls från analyser av LiDAR-data. Den första bearbetningen som gjordes med DTM-skiktet var att avlägsna små sänkor som skapats i skiktet under extraheringsprocessen. Genom att avlägsna sänkorna görs ytan jämnare vilket är avgörande för möjligheten att göra flödesanalyser för vatten på ytan. Verktøget "Fill" i ArcMap användes för bearbetningen och bygger på algoritmer från Tarboton et.al (1991).
- Flödesanalyser görs på det fyllda DTM-skiktet med en D8-algoritm (Jenson & Domingue, 1988) som beräknade flödesriktningen i varje pixel, denna information användes vidare för beräkning av pixel-ackumuleringen i varje pixel (op.cit.), alltså antalet pixlar som mynnar i den aktuella pixeln. Verktøgen "Flow direction" och "Flow accumulation" användes i ArcMap till analyssteget.
- Flödeskanaler skapades från rastret med flödesackumuleringen där ett tröskelvärde på ett hektars tillrinningsområde avgör hur flödeskanalerna breder ut sig. Detta innebar med den aktuella pixelstorleken att samtliga pixlar med en pixelackumulering på mer än tio tusen pixlar blev utvalda för att skapa flödeskanaler för vatten. Verktøget "Set Null" användes för att analysera fram de pixlar som översteg tröskelvärdet, i verktøget ställs ett kriterium som lyder att alla pixlar under tröskelvärdet blir raderade. På så vis finns endast pixlarna där flödeskanalerna sträcker sig kvar. Dessa vektoriseras³ sedan med verktøget "Stream to feature" där rasterformatet övergår till att bli ett vektorlager för att informationen skall kunna behandlas i nästa analyssteg.

Genom erfarenhetstal från tidigare studier (White et.al, 2012) har bedömning om hur stort tillrinningsområde som skapar en flödeskanal av vatten kunnat erhållas. White et.al. (2012) har haft olika tillrinningsområden i sin studie, dock har Bergkvist (2013) kunnat avgöra att ett tillrinningsområde på ett hektar lämpar sig relativt väl för Svenska förhållanden. Detta har därför använts till utgångspunkt.

- Den andra beräkningen som sker med DTM-skiktet som ingångsdata är en lutningsanalys där varje pixels lutning beräknas. Verktøget "Slope" i ArcMap används till detta och algoritmer från Burrough (1998) är beräkningsgrundande för att extrahera lutningen (ArcMap, 2014). Lutningen skall för varje cell erhållas med enheten radian istället för grader så en transformering av det erhållna rastret behövde ske efter att verktøgets körts. Verktøget "Raster calculator" användes för transformeringen.

³ Att göra ett vektorlager av ett raster. Kan förklaras som att datorn gör en linje efter till exempel en väg på en kartbild. Denna linjen kan då flyttas och användas någon annan stans. Ett sätt för en dator att rita av något med smörpapper.

- Det sista analyssteget är att med verktyget "Path distance" låta lutningsrastret interagera med de erhållna flödeskanalerna i vektorformat. Flödeskanalerna sattes som målceller dit avståndet från varje pixel beräknades. I och med att pixelvärdena i lutningsrastret är angivna som radianer istället för grader blir avståndet inte den vågräta utan den lodräta sträckan och DTW-indexet har således framkommit för samtliga pixlar. Figur 3 illustrerar hur summeringen i "Path distance" fungerar.



Figur 3. Den blå färgen illustrerar vektorobjektet som utgör vattennivån. Genom verktyget "Path distance" summeras värdena för pil 1, pil 2 och pil tre till det avstånd pixel tre har till vattenobjektet. Då pixelvärdena är omräknade från lutning angivet i grader till lutning angivet i radianer blir summan den lodräta sträckan mellan pixlarna som pilarna pekar på.

Identifiera känsliga områden och hänsynsområden

Utöver det DTW-skikt som analyserades fram att ta hänsyn till så erhöles fastställda hänsynsområden på trakten från markvärdens planerare. Detta kunde handla om hänsyn till fornminnen, speciella biotoper eller andra naturvärden som inte kunde erhållas av laserdata. Informationen erhöles i form av shapefiler över de aktuella områdena och dessa avsattes sedan helt från optimeringen tillsammans med DTW-skiktet

Skapa ett fullständigt traktpaket för optimering

Det traktpaket som tillslut utgjorde grundmaterialet för optimering utgjordes av det data som presenteras i Tabell 4.

Tabell 4. Beskrivning av indata till optimeringen, både vad det skall användas till samt vilket format det är använt i

<i>Material</i>	<i>Användningsområde</i>	<i>Format</i>
Traktytan	För att avgränsa området som ska avverkas	Shapefil
DTM	Raster med höjdvärden över en markyta.	Raster
DTW	Raster med djupet till närmaste vattenobjekt.	Raster
Avlägg	Platsen dit virket skall transporteras	Shapefil
Alternativt avlägg	Det alternativa avlägget	
Överfarter	De eventuella platser där broar måste byggas för att undvika körskador eller körning i vatten	Shapefil
Alternativ överfart	Den alternativa överfarten	
Hänsynsytor	Ytor som skall undvikas av olika anledningar, ex. fornlämningar, känsliga marktyper etc.	Shapefil
PRI/HPR-fil	Information om samtliga stockar som genererats av skördaren, samt geografisk information om var de finns.	PRI/HPR-fil
PRL-fil	Skotarens produktionsuppföljningsfil.	PRL-fil
Vägar/skogsbilvägar	Om vägar korsar en trakt måste detta tas hänsyn till vid skotningen	Shapefil
Övrig hänsyn	Kan vara en kraftledning eller annat specialundantag	Shapefil

Traktens struktur

För att kunna jämföra verklighetens utfall mot optimeringar i enlighet med studiens syfte fastställdes fyra scenarier för respektive trakt med olika insamling av körsträcka. Två av scenarierna, A och D, var förankrade i den verkliga skotarens körvägar medan de resterande två, B och C var rent optimerade med egna körvägsmönster. Scenario B hade avlägg och överfarter placerade i enlighet med det verkliga utförandet. Scenario C anger alternativa placeringar av avlägg samt överfarter för att skapa en ett alternativ att jämföra optimeringen mot.

Avlägg samt överfarter över känsliga partier utgjorde delvis tvingande punkter i de optimerade scenarierna. I och med att optimeringen inte hade möjlighet att placera körvägar i områden som av DTW-indexet markerats fuktiga kunde passage över dessa områden endast utföras genom att ange överfarter på utvalda ställen. Detta skapar en teoretisk markskadefri skotning vilket fallet antagligen inte hade varit i realiteten. De allvarliga skadorna lär dock med all säkerhet reduceras då man håller sig från blöta och fuktiga partier helt.

- A. Den utfallande körsträckan från den verkliga skotningen
- B. Den utfallande körsträckan från optimeringen med placering av överfarter och avlägg i enlighet med den verkliga skotarens 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.

Jämförelse av scenario A och D pekar mot hur en ruttoptimering av skotningsarbetet påverkar den körda sträckan. Samma vägnät som använts i verkligheten används till ruttoptimeringen vilket antogs hänföra skillnaden till att vara ruttoptimeringens bidrag till effektivisering. Att jämföra dessa kan också vara nödvändigt om optimeringen ska utvecklas. Genom att skruva på olika parametrar kan exempelvis optimeringens tidsutfall eller körhastigheter kalibreras med den verkliga skotarens.

En jämförelse av scenario A med B svarar på hur mycket en optimering klarar minska körsträckan mot en konventionell skotning där båda utgått från samma information. Att avläggen och överfarternas placering är den samma i båda fallen gör att de grundläggande förutsättningarna är lika.

En jämförelse av scenario B med C utgjorde en analys av vilka placeringar av avlägg och överfarter som minskade körsträckan mest med hjälp av optimeringen. Många alternativa skotningssätt kan analyseras och optimeras. I denna studie avgränsades dock antalet till ett alternativ som angivits av skotarföraren som realistiskt.

Ytterligare en nivå i jämförelsen lades till för scenarierna B-D, alltså de scenarier som optimerats i dator. Tillägget gjordes på grund av problematiken med huruvida skotaren blandar virkessortiment på lassen eller inte. Olika förare och olika traktförutsättningar gör detta till en svårbedömd parameter att uppskatta, i studien valdes därför extremerna och inte en andel av lassen som gör på det ena eller andra sättet. I scenarierna B-D kan skotaren antingen köra sortimentsrena lass, alltså endast ett sortiment får samtidigt finnas på lassen. Eller kan skotaren köra mixade lass, alltså sortimenten får blandas på lassen. För det verkliga utfallet erhöles ingen information kring andelen mixade eller sortimentsrena lass.

Optimera skotningen

Skotarens körda sträcka skulle i enlighet med syftet minimeras. Skillnaden från tidigare utföranden (Carlsson et al. 1999; Flisberg et al. 2007) är att skördarens skapade körvägar inte användes till ruttoptimeringen. Istället användes för scenarierna B och C ett optimerat vägnätverk där virkessortiment samt gällande volymer i varje virkeshög genererad av skördaren fanns med som faktorer. För scenario D användes den verkliga skotarens körvägar.

Optimeringsprocesserna utfördes av Patrik Flisberg och Mikael Rönnqvist (Flisberg, 2014, Rönnqvist, 2014) som har mångårig erfarenhet och kunnande gällande optimeringar av skogliga problem. I dialog med dem blev kontentan att målformuleringen ansågs ge en övergripande och relativt lättförståelig bild av optimeringen för denna rapports ändamål. Eftersom denna rapport syftar till att utreda ett tänkt arbetssätt med ett verktyg och inte utreda verktyget i sig har därför den vidare processen efter målformuleringen beskrivits med text och inte med matematiska formler för att hålla ner komplexiteten. Målformuleringen ger den övergripande bilden läsaren anses behöva för att sätta sig in i optimeringsprocessen och sedan förstå dess tillämpning på studiens problem.

Optimeringen för scenarierna B och C kan tänkas som två olika steg

1. Skapa ett vägnät där i första hand uppkomst av markskador minimeras och i andra hand minimeras skotad sträcka.
2. Ruttoptimera skotaren på det skapade vägnätet

Optimering del 1

För att särskilja stegen i optimeringsprocessen kommer det första steget att benämnas som optimering av vägnät medan steg två benämns ruttplaneringsoptimering vidare i rapporten. Framräknandet av ett så nära optimalt vägnät som möjligt kan göras på olika sätt varav sättet som beskrivs är ett, det är dock ett mycket komplicerat optimeringsproblem att lösa till ett absolut optimum.

Virkets placering på trakten har en central del i optimeringsprocessen. I denna studie har skördarens produktionsfil använts för att geografiskt placera ut virket från samtliga avverkade träd. Utifrån de geografiska placeringarna har sedan de avverkade träden ackumulerats till färre punkter som ska symbolisera skotarens uppställningsplats för att nå virket. Skotaren kan nå flera av skördaren genererade virkeshögar och därför har virkeshögar inom en skotares räckvidd ackumulerats till en punkt med den totala virkesmängden.

Mängder

N = noder i nätverket

A = bågar (med index j)

A_i^{start} = de bågar som startar i nod i

A_i^{end} = de bågar som slutar i nod i

L = länkar (med index j)

A_j^L = bågar i länk j (bågar har en riktning medan länkar inte har det)

K = flödesnivå på länkar (index k)

Parametrar

S_i = tillgång av virke vid nod i

D_i = efterfrågan av virke vid nod i

b_{jk} = begränsning av flödet på länk j med nivå k

$c_{j'}$ = kostnad för lastat flöde med last på rutt j'

c_{jk}^y = kostnad att använda länk j för nivå k

Beslutsvariabler

$x_{j'}$ = transporterad volym på båge j'

q_{jk} = transporterad volym på länk j för nivå k

y_{jk} = 1 om länk j används vid nivå k , annars 0

Målformulering

$$\min f = \sum_{j' \in A} c_{j'} x_{j'} + \sum_{j \in L} \sum_{k \in K} c_{jk}^y y_{jk} \quad [1]$$

Restriktioner:

$$S_i + \sum_{j' \in A_i^{end}} x_{j'} - \sum_{j' \in A_i^{start}} x_{j'} = D_i, \quad \forall i \in N \quad [2]$$

$$\sum_{j' \in A_j^L} x_{j'} = \sum_{k \in K} q_{jk}, \quad \forall j \in L \quad [3]$$

$$q_{jk} \leq b_{jk} y_{jk}, \quad \forall j \in L, k \in K \quad [4]$$

$$\sum_{k \in K} y_{jk} \leq 1, \quad \forall j \in L \quad [5]$$

$$x_{j'} \geq 0, \quad \forall j' \in A \quad [6]$$

$$q_{jk} \geq 0, \quad \forall j \in L, k \in K \quad [7]$$

$$y_{jk} \in [0,1], \forall j \in L, k \in K$$

Målformuleringen som ges i ekvation [1] ska minimera summan av flödeskostnad och kostnad för att utnyttja länkar på viss nivå.

Ekvation [2] kontrollerar flödesbalansen i en pixel, det virke som strömmar in ska också strömma ut.

Ekvation [3] kopplar ihop bågarna flöde på länknivå.

Ekvation [4] anger för vilken nivå bågen är öppen, dvs. hur många överfarter som kan göras på den.

Ekvation [5] kontrollerar att bågen endast används för en nivå.

Ekvation [6] anger att flöden över bågar inte får vara negativt.

Ekvation [7] anger att flöden över länkar inte får vara negativt.

Ekvation [8] anger att beslutet om en länk är öppen för en viss nivå är binärt.

I optimeringen används DTM-skiktets pixelstruktur för uppbyggnad av en digital trakt. Länkar är möjliga vägsträckningar och anges med mängden L . Mängden A är bågar och är underordnad länkarna. Bågarna beskriver vilken riktning som förflyttningen sker i. Det går att föreställa sig detta genom att tänka på en motorväg. Motorvägen kan ses som länkarna och bågarna kan ses som filerna på motorvägen som går åt motsatta håll. Noderna som benämns N i modellen kan utöver att fungera som nod innehålla en tillgång eller en efterfrågan. Tillgång har de noder som svarar mot områden där träden ackumulerats till uppställningsplatser (enligt data från skördarens produktionsfil). Från alla avlägg går bågar till en så kallad supersänka där all efterfrågan är. Detta för att volymen som ska skotas till varje avlägg inte är känd, men allt virke ska skotas till något avlägg. Mängden K är nivå och anger hur många lass som körs via en länk oavsett riktning. Virkets tänkta väg från avverkningsplats till avlägg kallas för flöde och innebär den mängd som rör sig över ytan.

Optimeringsproblemet för vägdragning är komplext och mycket stort. I denna studie så blir det ungefär 1.5 miljoner binära och 2.5 miljoner kontinuerliga variabler samt ungefär 2.5 miljoner villkor. De mest avancerade kommersiella lösningsalgoritmerna lyckas inte problemet för denna studie inom rimlig tid (12 timmar) (Flisberg, 2014). Därför har en "Lagrange relaxering" (Bertsekas, 1999) använts, det är en lösningsmetod som kan tillämpas för svårlösta optimeringsproblem där ett eller flera "komplicerande" villkor tas bort (relaxeras) och mindre delproblem bildas. Istället för att lösa det stora problemet så löses delproblem och lösningarna för dessa "bestraffas" med Lagrange multiplikatorer om de relaxerade villkoren inte är uppfyllda och styr därmed lösningen från dessa.

I optimeringen av vägnätet är det ekvation [3] som relaxeras vilket gör att det inte finns någon koppling mellan flöde på bågar och länkar. Detta leder till att problemet kan delas upp i två mindre problem där varje av dessa är enkla att lösa. Det första problemet är ett billigaste vägproblem där billigaste vägen från varje uppställningsplats ska hittas till avlägg. Det finns

effektiva metoder att lösa denna typ av problem (Flisberg, 2014). Det andra problemet är att bestämma vilka länkar som ska vara öppna och för vilken nivå (dvs. hur många lass som ska köras på dem). Detta problem är enkelt att lösa (Flisberg, 2014). De båda mindre problemen löses i en iterativ process och efter att lösningarna räknats fram så uppdateras Lagrange multiplikatorerna beroende på det relaxerade villkoret (ju lägre uppfyllnadsgrad detta villkor har, desto högre värde får multiplikatorerna) och problemen löses igen.

De två delproblemen strävar mot olika mål. Det första vill göra vägen från virkeshögarna till avlägg så kort som möjligt medan det andra delmålet vill använda så få länkar som möjligt. Kombinationen av dessa mål görs möjlig med hjälp av lagrange multiplikatorerna som kan väga samman dessa till en optimal lösning.

Principen vid flödesdragningarna var att undvika flöden helt på enligt DTW-indexet fuktiga partier samt de partier som lutar mer än 27 grader enligt DTM-skiktet. Gradantalet för maxlutning har hämtats från handboken "Terrängtypschema för skogsarbeten" (Skogforsk, 1995). I den klassificeras markens lutning vid terrängkörning i fem klasser där 27 grader utgör tröskelvärde till den mest lutande.

Optimering del 2

För själva ruttoptimeringen användes metodiken från Flisberg et al. (2007) och denna utfördes på scenario B, C och D. För scenario B och C användes det genererade vägnätet från optimeringen som grund medan scenario D erhöll vägnätet från den verkliga skotaren.

Några definitioner;

En rutt är en körning av skotaren ut på avverkningen och tillbaka, den påbörjas vid avlägg och avslutas vid anländande till avlägg igen.

En hög är en hög med virke (vid en uppställningsplats).

Modellen för ruttoptimeringen:

c_j = tid att köra rutt j

x_j = 1 om rutt j används, annars 0

a_{ij} = 1 om hög i plockats upp i rutt, annars 0

n = antal möjliga rutter

m = antal högar

$$\text{Min } z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad [9]$$

$$\text{Med villkor } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = 1, i = 1, \dots, m \quad [10]$$

$$x_j \in \{0,1\}, j = 1, \dots, n \quad [11]$$

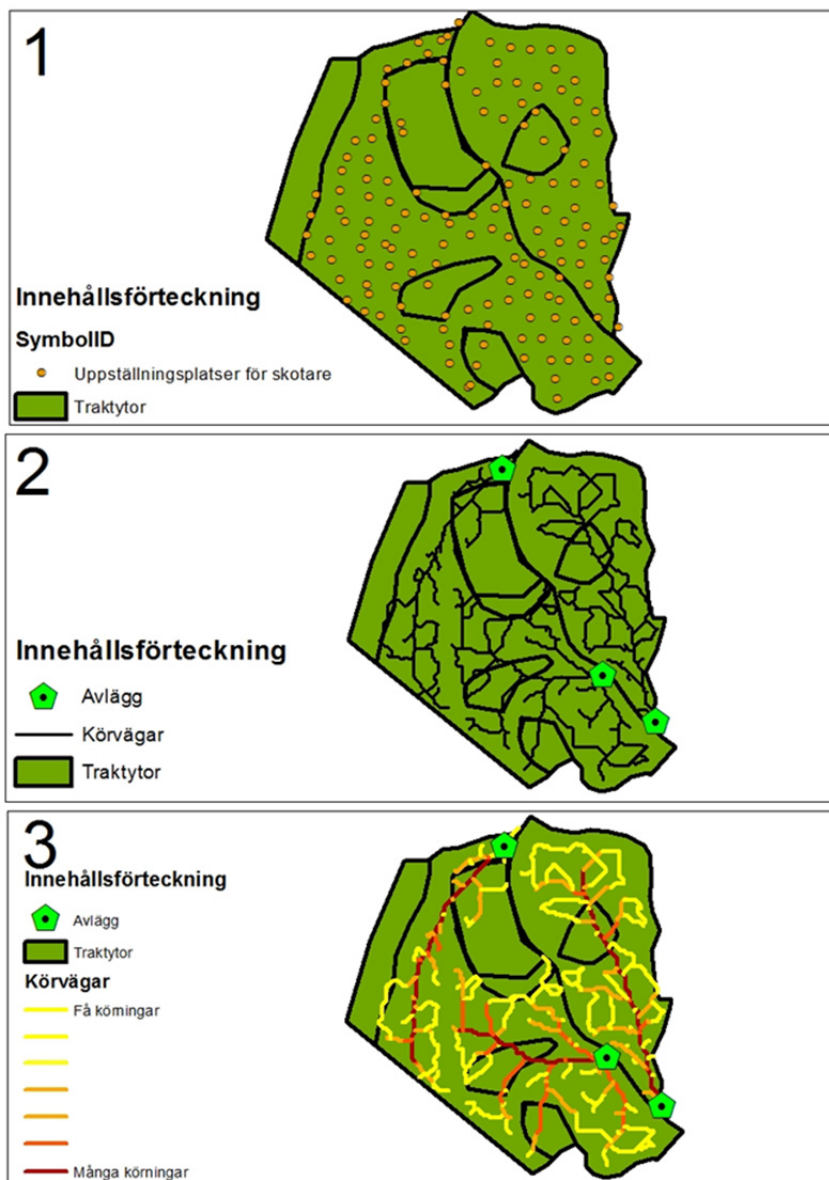
Målformuleringen för ruttoptimeringsproblemet beskrivs i ekvation [9]

Grundproblemet var att minimera summan av samtliga rutters längd som tillsammans utgjorde det totala skotningsarbetet. Genom att multiplicera tiden för rutt j (c_j) med en binär variabel (x_j) som anger om rutt j används eller inte kan samtliga rutter summeras. Villkor [10] kräver att samtliga virkeshögar hämtas. Villkor [11] beskriver att det är ett binärt beslut om en rutt

används eller inte. Detta problem är mycket svårt att lösa till optimum då antalet möjliga rutter n är mycket stort.

Därför användes en heuristik metod för att lösa problemet, via en iterativ process matchades virkeshögarna ihop till rutter längs det utlagda vägnätet. Genom att slumpvis flytta virkeshögar mellan rutterna kunde en bättre och bättre lösning erhållas. Processen avbröts då en någon bättre lösning inte hittats efter ett visst antal iterationer. Den bästa lösningen som då hittats är normalt relativt nära optimum men troligen inte det absoluta optimumet (Flisberg, 2014).

Hela optimeringsprocessen beskrivs illustrativt i Figur 4.



Figur 4. Den gröna ytan representerar avverkningstrakten och i ruta 1 symboliserar prickarna de uppställningsplatserna som skotaren behöver besöka för att nå virket. I ruta 2 har sedan ett vägnät att köra skotaren på skapats av optimeringen. Ruta 3 visar sedan med färgsättning ett exempel på hur vägnätet kan kategoriseras utefter antal köringar. Ju rödare färg desto fler rutter passerar denna väg.

Jämföra nyckeltal och urskilja det lämpligaste drivningssättet

Utfallen från scenarierna jämfördes med varandra med hjälp av fyra olika nyckeltal, totalavstånd, medelskotningsavstånd, tidsåtgång och uppskattad kostnad.

Totalt köravstånd

Totalavståndet innebär all körning som är gjord i samband med arbetet på trakten. För scenario A kommer GPS-loggningens kvalitet att inverka på hur riktig mätningen blir. För Trakt 1 användes en påmonterad GPS av typ ”FältCom MIIPS” för loggning. Den registrerade skotarens position och hastighet för varje sekund som punkter. Dessa punkter kunde sedan sammanbindas i kronologiskt registrerad ordning för att kunna beräkna längden på den totala körsträckan. Innan detta gjordes korrigerades dock loggarna så att alla punkter där ingen hastighet registrerats raderades. Antagandet var att då ingen hastighet registrerats utförs kranarbete eller annan aktivitet där maskinen står still. Även om maskinen är still så registrerar GPS’en sin position varje sekund, vilket kan ge en falsk körsträcka vid mätningen då en viss avvikelse per registrering som regel sker vid stillastående. Genom att utesluta de stillastående registreringarna undveks denna felmarginal.

För trakt 2 användes den i maskinen inmonterade GPS ‘en. Registreringsmetoden för denna GPS bygger på att maskinen förflyttat sig ett bestämt avstånd, GPS ‘en kontrollerar hela tiden sin position och när förflyttning har skett med det angivna avståndet görs en registrering av positionen samt tidpunkten vid positionstillfället. Genom att summera samtliga positioner kunde det totala köravståndet erhållas.

Medelskotningsavstånd

Medelskotningsavståndet finns inte definierat i skogsencyklopedin (Wåhlberg, 2012). Definition av medelskotningsavståndet har hämtats från Tiger, (2012) och Wåhlberg, (2012). Två huvudtyper av transportavstånd nämns, ett medelskotningsavstånd och ett medelterrängtransportavstånd. Skillnaden är att i medelskotningsavståndet så inkluderas all körning, den rena transportkörningen liksom körningen i samband med på och avlastning av skotaren. I medelterrängtransportavståndet inkluderas endast avståndet som är transport med tomt eller fullt lass för skotaren, med andra ord exkluderas den körda sträckan i samband med på och avlastning.

Formel för medelskotningsavstånd

$$M = \frac{s}{n * 2}$$

M = medelskotningsavstånd

s = total körsträcka

n = antal lass

Antalet lass är en viktig parameter för medelskotningsavståndet och erhöles för trakt 1 genom att dividera den avverkade volymen med volymen på skotarens lastutrymme. För trakt 2 fanns däremot antalet lass angivna i skotarens produktionsfil och erhöles därför därifrån.

Då medelskotningsavståndet har antal lass som nämnare kommer fyllnadsgraden av lassen att få påverkan på jämförelsen mellan scenariernas olika medelskotningsavstånd. Samma körda volym kan få lång respektive kort sträcka beroende på hur väl lassen är fyllda. Om skotarföraren har kört många ej fyllda lass blir medelskotningsavståndet lägre än om det varit fyllda lass. För att kunna göra en jämförelse oberoende lastfyllnadsgraden beräknades ett

normerat medelskotningsavstånd, där varje lass antogs vara fullastat vilket för denna studie motsvarar ett innehåll på 14 m³fub. Den totala sträckan dividerades med den totala avverkade volymen vilket gav en kvot som beskrev körd meter per volymenhet. Genom att multiplicerades denna kvot med lastvolymen erhöles varje fyllt lass körda sträcka. Division med nämnaren 2 gjordes efter det för att erhålla ett enkelt avstånd.

Formeln för det normerade medelskotningsavståndet ser ut som följer

$$nM = \frac{\frac{s}{v} * Lv}{2}$$

nM = normerat medelskotningsavstånd

s = total körsträcka

v = total avverkad volym

Lv = lastvolym på skotare

Tidsåtgång

Tidsåtgången beräknas fram med parametrarna medelhastighet och den totalt körda sträckan enligt formeln

$$T = \frac{s}{h}$$

T = tidsåtgången

s = sträckan

h = hastigheten

I resultatet beräknades tidsåtgången med tre olika medelhastigheter för att kunna studera hur tidsåtgången förändrades vid en förändrad körhastighet. För trakt 1 kunde en medelhastighet erhållas ur GPS-informationen och fick därför bli en av de tre medelhastigheterna. Trakt 2 var betydligt mer kuperad än trakt 1 och med den vetskapen valdes medelhastigheterna för trakt 2 att vara aningen lägre än för trakt 1 för att spegla verkligheten där kuperad terräng generellt har lägre medelhastighet för terrängtransporter.

Uppskattad kostnad

Tillsammans med Brunberg (2014) fastställdes en relevant drivningskostnad till att vara 1010 sek/G₀-timme⁴. Brunberg arbetar på Skogforsk och har sammanställt kostnader i skogsbruket under många års tid. Han bedömdes vara en lämplig person att rådgöra med om en relevant skotningskostnad. Dock ska det pålysas att detta endast är ett uppskattat värde för att kunna jämföra scenarierna inbördes i rapporten, denna kostnad går inte att ta ur sitt sammanhang och direkt hänföra på svenskt skogsbruk.

Litteratursökning

Sökning av litteratur har främst gjorts med SLU-bibliotekets litteraturdatabas "Primo" och databasen "Web of knowledge". Sökord har varit: forwarding, forest, optimization, dtw, dtm, water, planning.

⁴ När man anger produktionstid i skogliga studier finns en tradition att för varje arbetad timma låta 15 minuter vara borträknad som ej produktiv tid. Denna tidsberäkning kallas för G₁₅-timme. G₀-timme är istället tidsangivelse utan att 15 minuter räknas bort för varje timme (Skogsencyklopedin, 2014).

Etiskt förhållningssätt

Vid behandling av insamlad data är det viktigt att personer som varit deltagande vid försöken behandlas med respekt och värdighet (Denscombe, 2009). Om de på ett eller annat sätt varit en del av studien eller lämnat information som används i den behöver ett etiskt förhållningssätt följas vid behandling av informationen så att de aktuella personerna inte drabbas negativt av att ha ställt upp. Denscombe (2009) nämner tre stycken grundpunkter en forskare förväntas att följa.

- respektera deltagarnas rättigheter och värdighet;
- undvika att deltagarna lider någon skada genom att medverka i forskningsprojektet;
- arbeta på ett ärligt sätt som respekterar deltagarnas integritet.

I denna studie har de etiska aspekterna beaktats genom att utesluta all angivelse av organisationer och namn på personer som deltagit. Detta kan av fler anledningar varit intressant att ha med, kanske framför allt för vidare forskning. Däremot hade en angivelse av namn på maskinförarna kunnat bli en känslig punkt om det skulle uppfattas som att studien bedömer huruvida deras arbetsutförande var på ett eller annat sätt, vilket motiverar en anonymitet. Likaså finns det inga direkta motiv till varför denna studie skulle bli mer trovärdig eller vetenskaplig av att ange deltagarna eller organisationerna vid namn vilket motiverar att utesluta dessa helt.

Datasäkerhet

En generell bedömning av säkerheten i datat är att den är god, det finns dock lite osäkerheter som är värda att nämna. Det rådata som används i studien är:

- GPS-registrerat data
- Laserskannat data

Noggrannheten hos GPS'erna kan ifrågasättas och det finns en felmarginal vid positionering med GPS. Dock anses säkerheten på positioneringen vid slutavverkning godkänd för denna studies syfte (Friberg, 2012). Vid positioneringsfel handlar det ofta om exakta placeringar av punkter då väder och satellitmottagningar kan avgöra hur riktigt den loggade positionen återges i koordinatsystem mot den verkliga positionen (Friberg, 2012). I studien är det dock relationen mellan registreringspunkterna i form av avståndet som är intressant. Alla punkter som registrerats under samma dag har fått relativt liknande förutsättningar. Avvikelsen de har gäller då alla de punkterna och relationen mellan punkterna bedöms därför inte påverkas i någon större utsträckning.

Gällande de laserskannade DTM-kartorna som användes ses distributören Lantmäteriet som en professionell och pålitlig datahanterare och för denna studie ses datat som fullt användbart.

Informationen om virkesvolymen på trakterna skiljer sig åt beroende av källan. Dels finns en uppskattad volym angiven på traktdirektivet. Dels finns skördarens uppmätta volym och dels skotarens angivna utforslade volym. Skördarens avverkade volym är den som har använts i studien. Denna är den mest objektiva datainsamlingen av alternativen då en dator kalkylerar en volym under arbetets gång. Det kan tänkas att skotaren inte skotat allt virke som skördaren avverkat vilket i så fall genererar beräkningsfel. Ett antagande som gjort är dock att allt virke blivit skotat och registrerat i GPS-loggarna.

För trakt 2 är skotarens registrerade volym lägre än den skördarmätta. Detta kan bero på ett uppskattningsfel hos antingen skotarföraren eller skördardatorn, alternativt har inte allt virke skotats. Trots differensen valdes den skördarmätta volymen till att vara den beräkningsgrundande på grund av objektiviteten i datainsamlandet.

För trakt 1 har antalet lass varit nödvändigt att uppskatta vilket gjorts med antagandet att skotaren haft fulla lass. Detta gjordes för att undvika ytterligare osäkra approximeringar genom att antaga en lastfyllnadsgrad för varje lass. Resultatet blir då att medelskotningsavståndet och det normerade medelskotningsavståndet är det samma.

Möte med maskinförare och fältpersonal

Ett möte upprättades med maskinentreprenörerna som drivit försökstrakterna och fältpersonal som sköter produktion och planering. Mötet hade ingen vetenskaplig metodik bakom sig utan var ett tillfälle att möta personerna som arbetat på och med objekten. Att få höra deras erfarenheter kring drivning överlag men i synnerhet på de aktuella trakterna gav värdefull förståelse till analysen av trakterna. Att skapa scenario C skulle varit svårt utan att ha talats vid med maskinförarna först. Utplacerandet av en extra överfart eller ett avlägg på trakterna hade inte fått samma verklighetsanpassade säkerhet. Med sin erfarenhet kunde förarna direkt peka ut vilket alternativt ställe de skulle valt att köra på.

Valet att omnämna mötet i rapporten är för att inte utesluta informationen som kan ha haft påverkan på författaren. Vid reflektion i efterhand skulle mötet haft en vetenskaplig metod till grund för att på ett mer metodiskt sätt inhämta och använda värdefull data från erfarna personer.

Kartmaterial

I denna rapport kommer figurer i form av kartor att presenteras. De består av en bakgrundskarta samt olika lager som illustrerar olika attribut. Bakgrundskartorna består av antingen ett ortofoto, eller ett raster beskrivande höjddata. Dessa bakgrundskartor är hämtade hos lantmäteriet där följande angivelse verifierar tillåten användning.

© Lantmäteriet, i2012/901

Den övriga presenterade geografiska informationen på figurerna ägs inte av lantmäteriet.

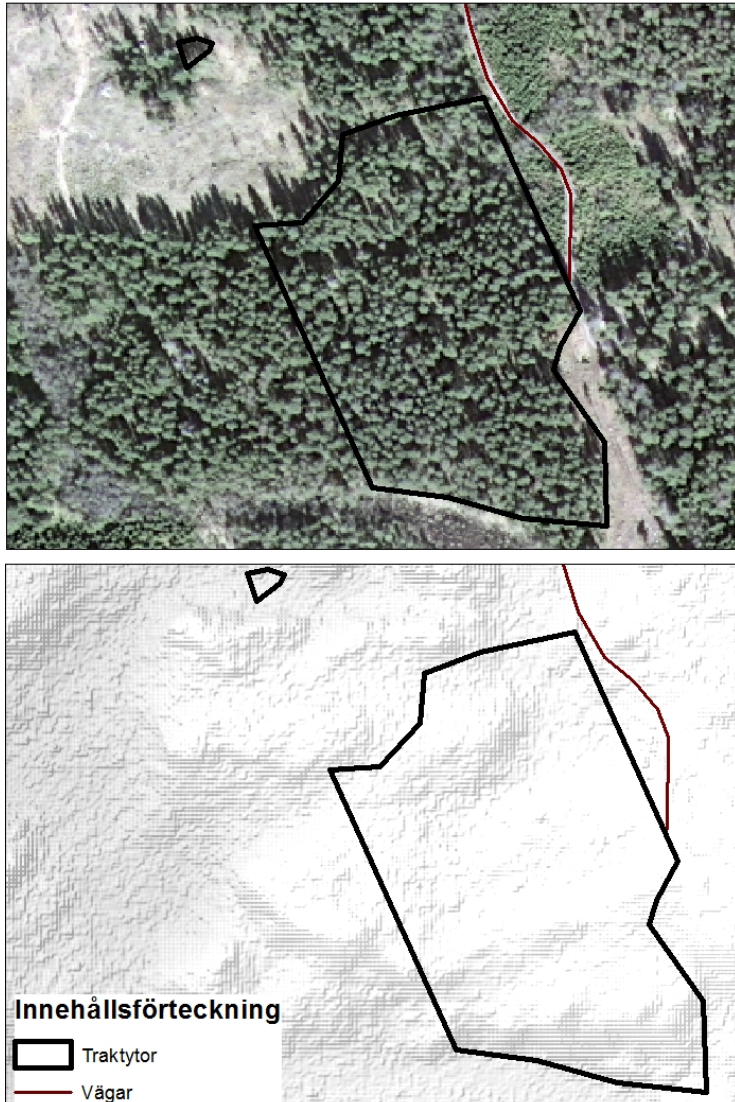
Resultat

Under resultat kommer den data som erhållits och sammanställts presenteras. Försökstrakternas utseende och olika utformningar kommer att illustreras grafiskt.

Utformande av försökstrakter

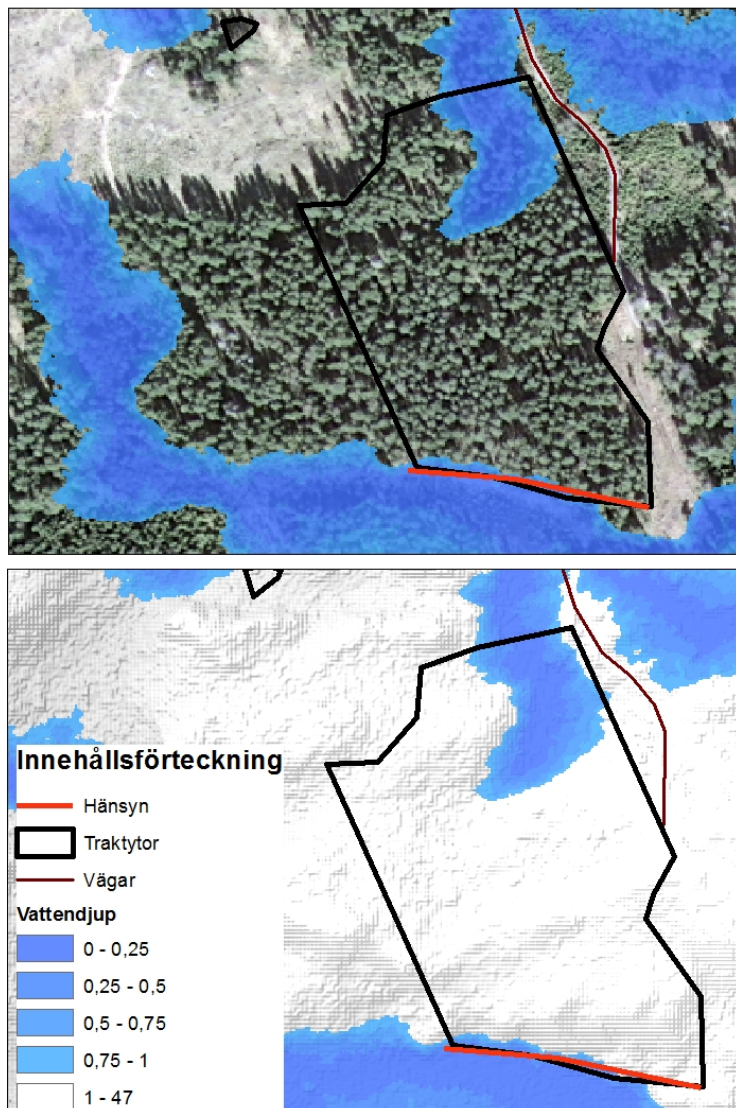
Trakt 1

Trakt 1 visas i Figur 5 med grundutförande, endast gränsen för trakten är utritad med ortofoto samt DTM som underlag.



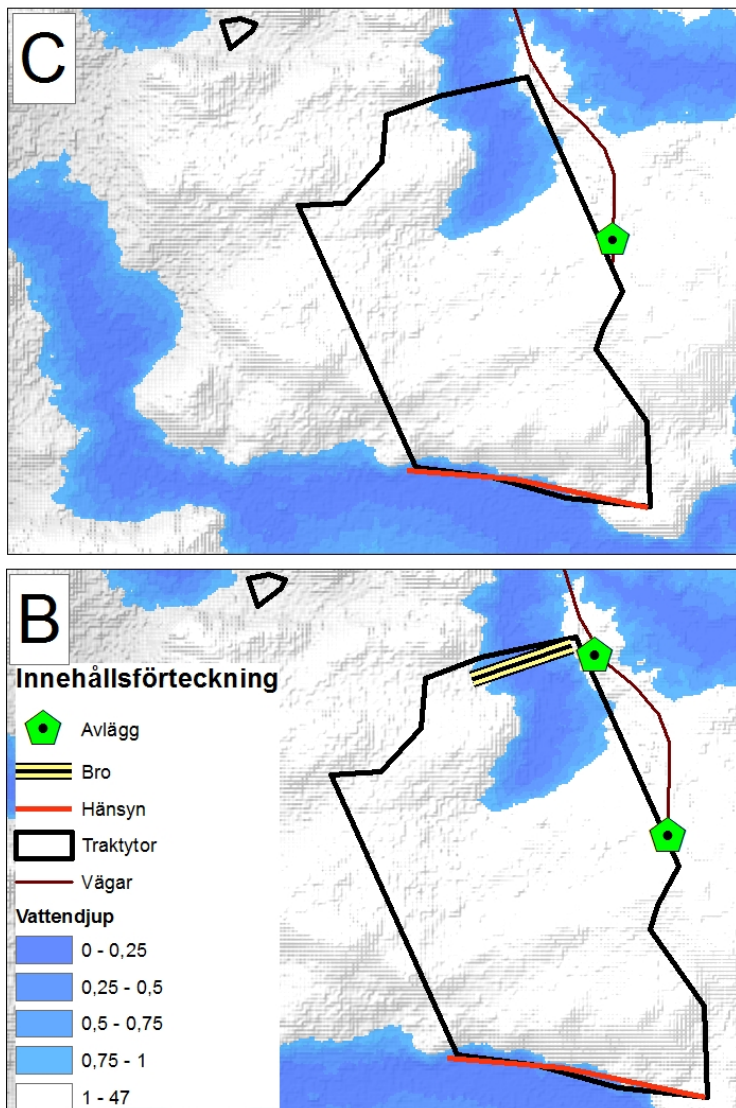
Figur 5. Trakt 1 är inringad av den svarta linjen och visas överst med ett ortofoto som underlag och undertill med DTM-skikt som underlag.

Efter framtagandet av DTW-indexet och tilläggande av hänsynsyta från planeraren blev utseendet på kartorna så som Figur 6 visar.



Figur 6. DTW-analysens resultat visas av den blåa färgen och hänsynen inritad av planeraren visas med röd färg. Den blåa färgen representerar de pixlar som finns närmare än 1 meter i höjdlid från närmaste vattenflöde. Det finns fyra blåa kategorier som beror av hur långt avståndet till vattnet är angivet i meter. Den övre och undre kartan skiljer sig åt endast avseende bakgrundskartan.

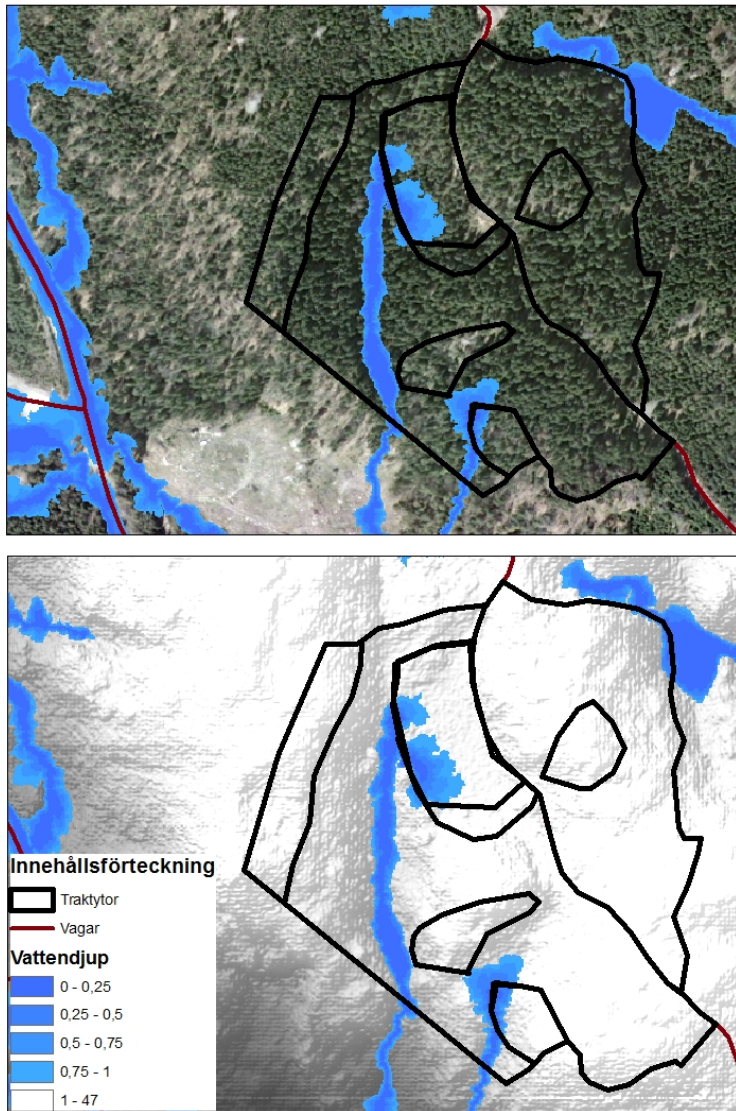
De två alternativa drivningssätten presenteras i Figur 7 där det undre är scenario B och det övre scenario C.



Figur 7. De två alternativa drivningssätten där det undre är scenario B och det övre scenario C.

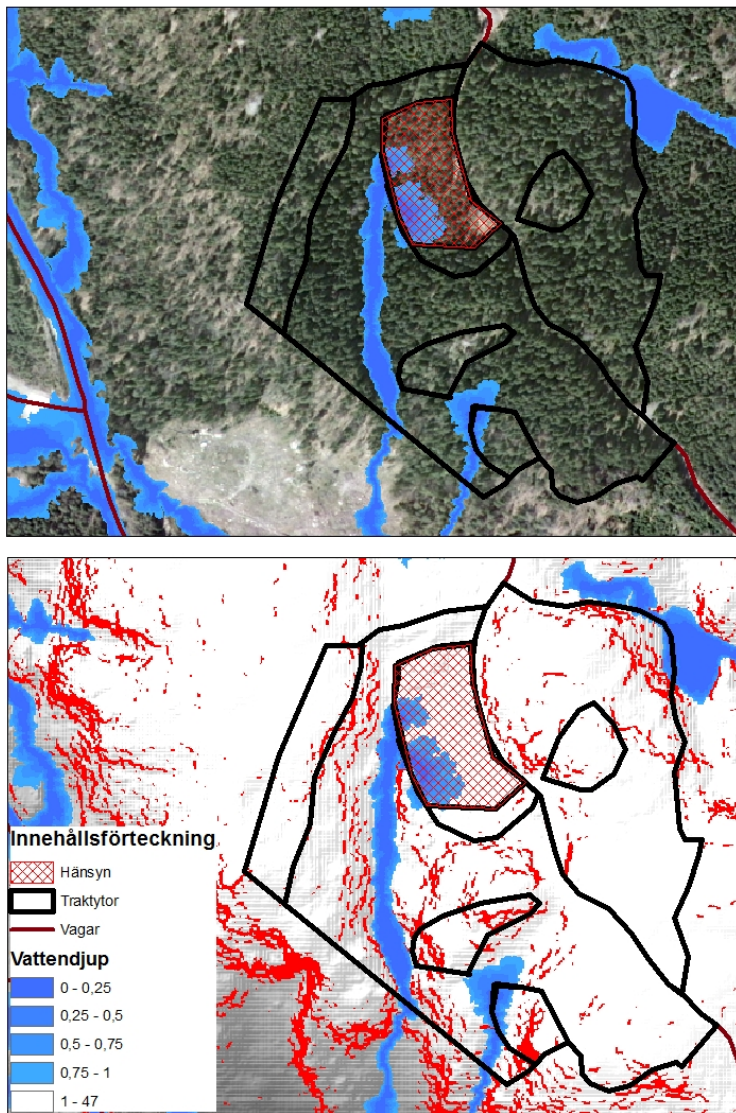
Trakt 2

Utseendet på trakt 2 visas i Figur 8.



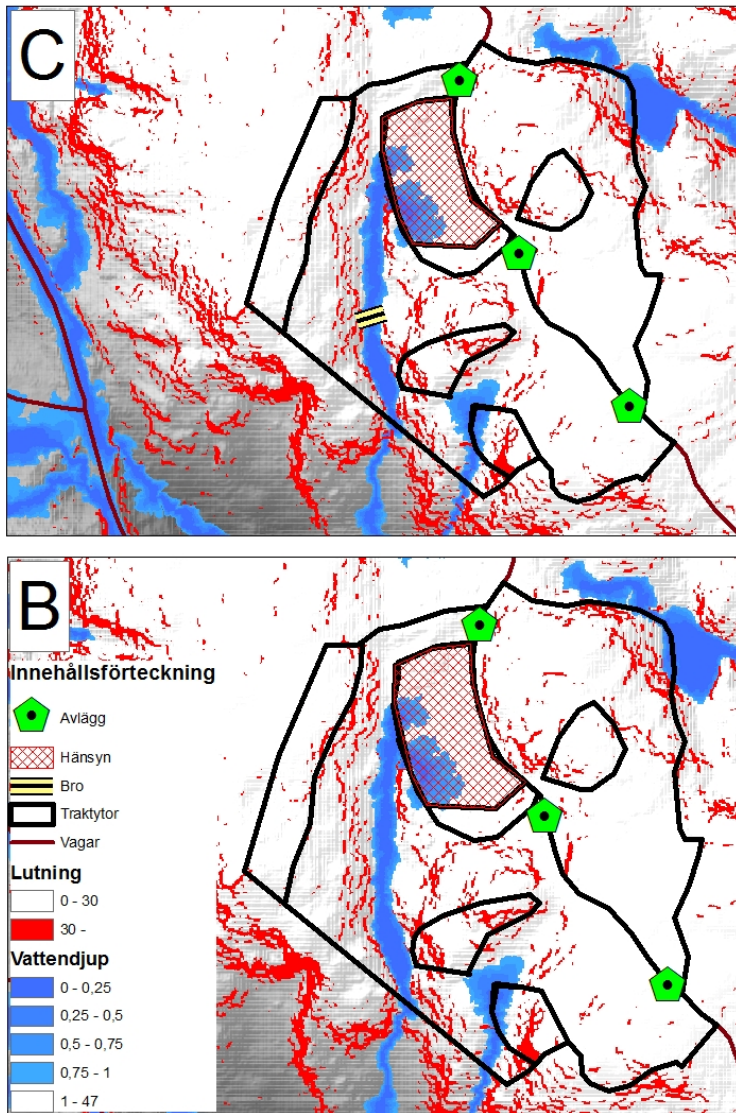
Figur 8. Trakt 2, översta bilden visar traktgränserna på ett ortofoto medan den undre har en DTM som bakgrund. Anledningen till att det är flera olika traktytor på trakten har antagligen med planläggarens indelning att göra. Alla delar tillhör dock avverkningen och indelningen påverkar inte denna studie.

Efter framtagandet av DTW-indexet och tilläggande av hänsynsyta från planeraren blev utseendet på kartorna så som Figur 9 visar.



Figur 9. Karta med angiven hänsyn. Hänsyn från planeraren indikeras av röd kryssmarkering medan DTW-analysens resultat visas av den blå färgen. En närmare beskrivning ges i innehållsförteckningen där meter ner till vattennivå anges. Den övriga röda färgen på den undre bilden visar lutningar över 27 grader där maskiner kan ha det svårt att ta sig fram.

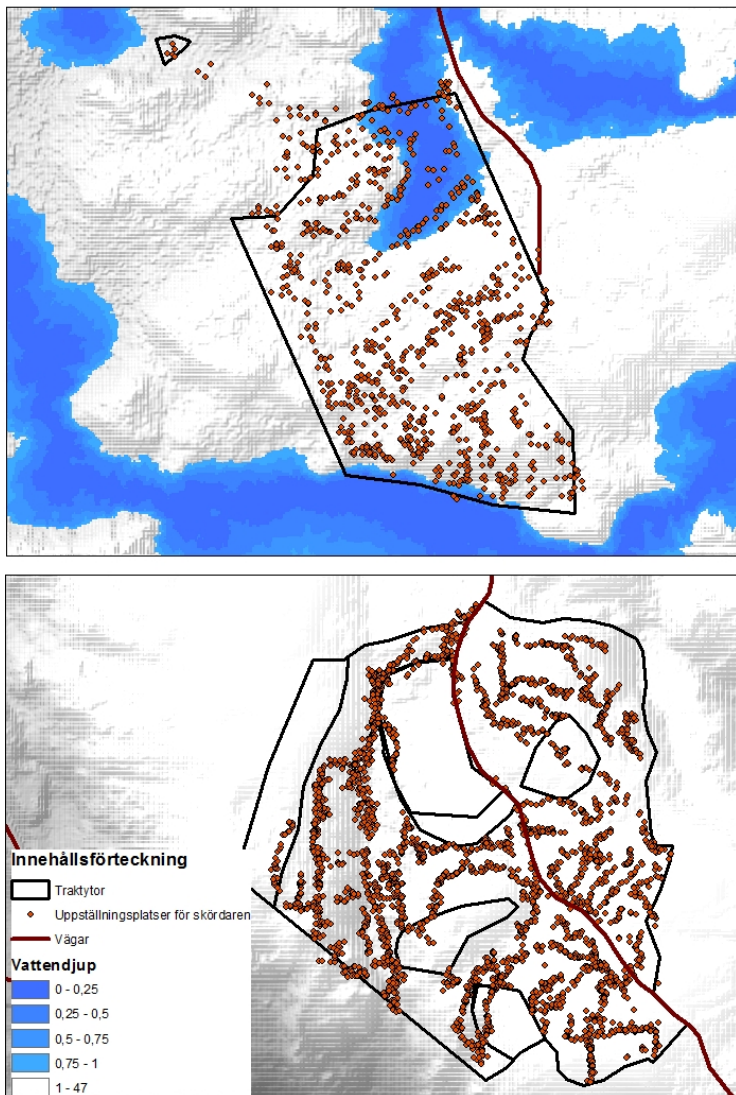
De två alternativa drivningssätten för trakt 2 presenteras i Figur 10 där det undre scenariot är scenario B och det övre är scenario C.



Figur 10. De två drivningsalternativen, det nedersta är scenario B och det övre scenario C.

Uppställningsplatser

Uppställningsplatserna från skördarna visas i Figur 11 som orangea prickar. Det går att urskilja mönster av punkterna i form av vägar där skördaren tagit sig fram.



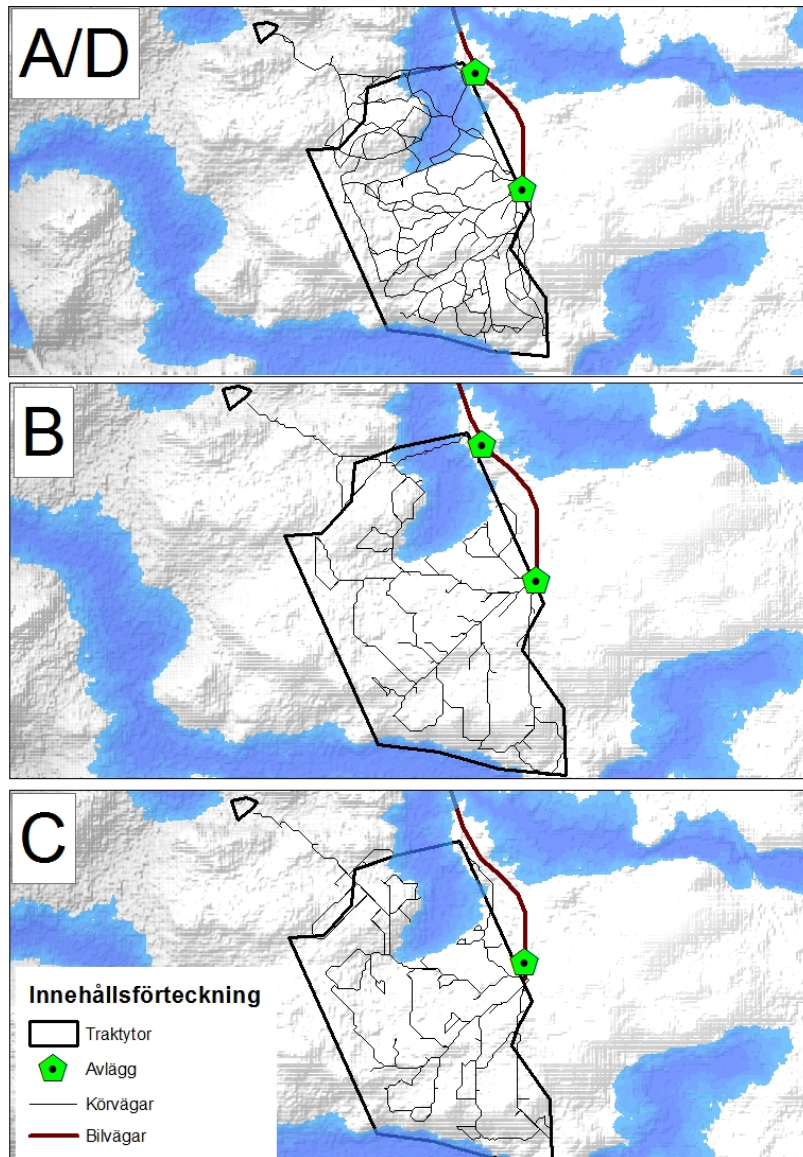
Figur 11. Uppställningsplatserna för skördarna erhållna från HPR-filen visas med orangea prickar för respektive trakt.

Genererade körvägar

Här presenteras körvägsförslagen för båda trakterna visuellt.

Trakt 1

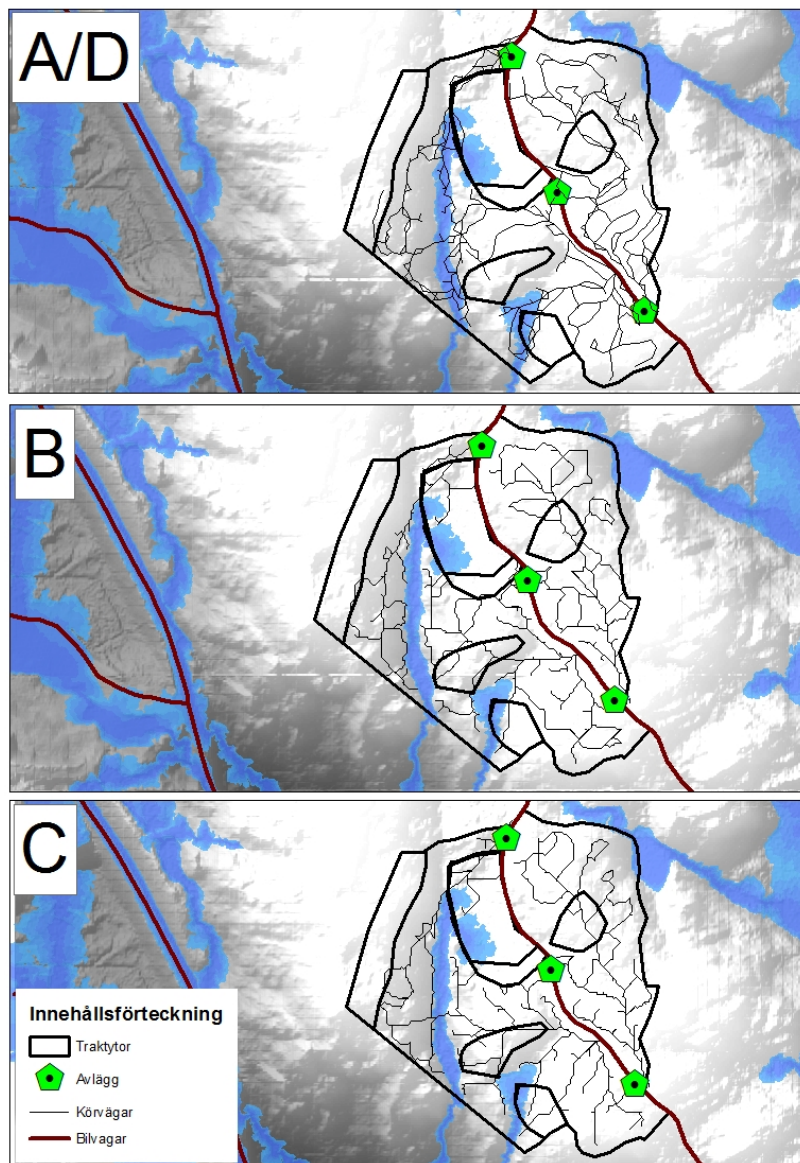
Körspåren som optimeringen genererat för samtliga skotningsalternativ presenteras visuellt i Figur 12. Scenarierna A och D har samma körvägsmonster och visas därför i samma bild. Skillnaden mellan körvägarna avseende antalet körningar har inte markerats i figuren utan samtliga vägar illustreras lika för att visa på hur körvägsmonstret ändrar sig beroende av optimeringen.



Figur 12. Respektive scenarios körvägsnät presenteras i figuren, bokstaven i det vänstra hörnet anger vilket scenario som bilden illustrerar. Ingen skillnad har gjorts avseende antalet körningar på en körväg.

Trakt 2

Körspåren som optimeringen genererat för samtliga scenarier presenteras visuellt i Figur 13. Scenarierna A och D har samma körvägsmonster och visas därför i samma bild. Skillnaden mellan körvägarna avseende antalet körningar har inte gjorts i figuren utan samtliga vägar illustreras lika för att visa på hur körvägsmonstret ändrar sig beroende av optimeringen.



Figur 13. Respektive scenarios körvägsnät presenteras i figuren, bokstaven i det vänstra hörnet anger vilket scenario som bilden illustrerar. Ingen skillnad har gjorts avseende antalet körningar på en körväg.

Körsträcka och tidsåtgång

I tabellform redovisas för båda trakterna scenariernas olika nyckeltal

Trakt 1

Körsträckan kortades i genomsnitt för samtliga scenarier med 22,4% mot det verkliga utförandets sträcka. Tabell 5 visar varje scenarios körsträcka samt hur många procent kortare den är jämfört mot scenario A vilket är det verkliga utförandets körda sträcka.

Att skotaren blandar sortiment på lasset ger en genomgående kortare körsträcka än om lassen hålls sortimentsrena. Notera att dessa resultat endast avser körsträckan vid de olika utförandena och inte tidsåtgången för arbetet. Blandas tidsåtgång in kommer av och pålastningstid att vara med och påverka resultatet.

Medelskotningsavståndet kan utläsas i Tabell 5 och kortades markant för samtliga scenarier gentemot scenario A. Detta får en direkt konsekvens i de kostnadsmodeller där medelskotningsavståndet används som parameter. Optimeringen kan användas för att beräkna fram ett medelskotningsavstånd på trakten utefter ett optimalt utförande med avseende på minimerad sträcka. Ska detta användas behöver dock skotarförarna arbeta utefter optimeringsförslaget utan större avvikelser för att siffrorna skall gälla.

Tabell 5. För samtliga scenarier presenteras den totala körsträckan, hur många procent körsträckan minskat gentemot scenario A, medelskotningsavstånd och ett normerat medelskotningsavstånd För scenario A är båda medelskotningsavstånden det samma på grund av att ingen information funnits om antalet utkörda laster under avverkningen. Istället fick alla laster antas ha varit fullastade vilket är det samma som det normerade medelskotningsavståndet där hänsyn inte tas till lastfyllnadsgrad

<i>Trakt 1</i>	<i>Körsträcka (km)</i>	<i>Minskad körsträcka (%)</i>	<i>Medelskotningsavstånd (m)</i>	<i>Normerat medelskotningsavstånd (m)</i>
Scenario A	27,306	-	187	187
Scenario B, sortimentsrent	22,030	19,3	131	161
Scenario B, mixade sortiment	20,570	24,7	122	150
Scenario C, sortimentsrent	23,670	13,3	146	173
Scenario C, mixade sortiment	22,180	18,8	136	162
Scenario D, sortimentsrent	20,02	26,7	127	146
Scenario D, mixa sortiment	18,75	31,3	122	137

En uppskattad tidsåtgång för samtliga scenarier presenteras i Tabell 6. Tre olika medelhastigheter användes vid beräkningen av tidsåtgången för att beskriva hur antalet timmar förändrades under olika hastigheter. Förhållandet angivet i procent mellan scenario A och övriga är detsamma som för sträckan i Tabell 5.

Tabell 6. Tabellen presenterar den rena körtiden för varje scenario, framräknat med olika medelhastigheter. Medelhastigheten 0,61 m/s erhöles från skotarens GPS-loggning vid avverkningen

<i>Trakt 1</i>	<i>Körtid, medelhastighet 0,61 m/s (h)</i>	<i>Körtid, medelhastighet 0,7 m/s (h)</i>	<i>Körtid, medelhastighet 0,8 m/s (h)</i>
Scenario A	12,5	10,7	9,4
Scenario B, sortimentsrent	10,0	8,7	7,6
Scenario B, mixade sortiment	9,4	8,2	7,1
Scenario C, sortimentsrent	10,7	9,4	8,2
Scenario C, mixade sortiment	10,1	8,8	7,7
Scenario D, sortimentsrent	9,1	7,9	7,0
Scenario D, mixade sortiment	8,5	7,4	6,5

En uppskattad kostnad för körningen under skotningsarbetet är beräknad i Tabell 7. Kostnaden är uträknad för att förmedla en känsla till läsare med erfarenhetstal som önskar att jämföra kostnader snarare än sträcka. Kostnaden skall inte ses som exakta siffror som gäller generell skotning utan detta är specifika siffror för just denna studie.

Tabell 7 En uppskattad kostnad för skotarens transportarbete presenteras i tabellen. Körtiden och en kostnad per G_0 -timme är ingångsvärden till uträkningen och presenteras under en medelhastighet

<i>Trakt 1</i>	<i>Kostnad för körtid, medelhastighet 0,61 m/s (sek)</i>	<i>Kostnad för körtid, medelhastighet 0,7 m/s (sek)</i>	<i>Kostnad för körtid, medelhastighet 0,8 m/s (sek)</i>
Scenario A	15 825	13 546	11 900
Scenario B, sortimentsrent	12 660	11 014	9622
Scenario B, mixade sortiment	11 900	10 381	8989
Scenario C, sortimentsrent	13 546	11 900	10 381
Scenario C, mixade sortiment	12 787	11 141	9748
Scenario D, sortimentsrent	11 520	10 001	8862
Scenario D, mixade sortiment	10 761	9368	8229

Trakt 2

Körsträckan kortades i genomsnitt 18,8% procent för scenario B, C och D gentemot A vilket är mindre än vad trakt 1 hade i genomsnitt. Trakt två har också större marginal mellan att köra med mixade lass eller sortimentsrena. De mixade lassen har en betydligt kortare körsträcka än vad man uppnår med sortimentsrena lass. Tabell 8 visar scenariernas körsträckor, scenariernas relativa förkortning mot scenario A samt medelskotningsavståndet. Scenario A på i Tabell 8 har olika värden på medelskotningsavståndet och det normerade medelskotningsavståndet till

skillnad från scenario A i Tabell 5 där dessa är lika. Detta beror på att skotaren på trakt 1 inte hade registrerat antalet utkörda lass under avverkningen vilket skotaren på trakt 2 hade gjort. Trakt 1 antogs då ha skotats med samtliga lass fullastade, vilket är det samma som det normerade medelskotningsavståndet där hänsyn inte tas till lastfyllnadsgraden. Därför har trakt 1 samma medelskotningsavstånd och normerat medelskotningsavstånd.

Tabell 8. För samtliga scenarier presenteras den totala körsträckan, hur många procent körsträckan minskat gentemot scenario A, medelskotningsavstånd och ett normerat medelskotningsavstånd för scenarierna

<i>Trakt 2</i>	<i>Körsträcka (km)</i>	<i>Minskad körsträcka (%)</i>	<i>Medelskotningsavstånd (m)</i>	<i>Normerat medelskotningsavstånd (m)</i>
Scenario A	54,875	-	227	243
Scenario B, sortimentsrent	48,390	11,8	177	214
Scenario B, mixade sortiment	43,300	21,1	162	192
Scenario C, sortimentsrent	47,010	14,3	179	208
Scenario C, mixade sortiment	41,760	23,9	160	185
Scenario D, sortimentsrent	45,070	17,9	175	199
Scenario D, mixa sortiment	41,880	23,7	167	185

En uppskattad tidsåtgång för samtliga scenarier presenteras i Tabell 9. Tre olika medelhastigheter användes vid beräkningen av tidsåtgången för att beskriva hur antalet timmar förändrades under olika hastigheter. Förhållandet mellan scenario A och övriga är detsamma som för sträckan i Tabell 8.

Tabell 9. Tabellen presenterar den rena körtiden för varje scenario, framräknat med olika medelhastigheter. Då trakt 2 var mer kuperad än trakt 1 valdes en lägre nivå av medelhastighet som jämförelsetal

<i>Trakt 2</i>	<i>Körtid, medelhastighet 0,5 m/s (h)</i>	<i>Körtid, medelhastighet 0,6 m/s (h)</i>	<i>Körtid, medelhastighet 0,7 m/s (h)</i>
Scenario A	30,5	25,4	21,8
Scenario B, sortimentsrent	26,9	22,4	19,2
Scenario B, mixade sortiment	24,1	20,0	17,2
Scenario C, sortimentsrent	26,1	21,8	18,7
Scenario C, mixade sortiment	23,2	19,3	16,6
Scenario D, sortimentsrent	23,3	19,4	16,6
Scenario D, mixade sortiment	25,0	20,9	17,9

En uppskattad kostnad för körningen under skotningsarbetet är beräknad i Tabell 10.

Kostnaden är uträknad för att förmedla en känsla till läsare med erfarenhetstal som önskar att jämföra kostnader snarare än sträcka. Kostnaden skall inte ses som exakta siffror som gäller generellt för skotning utan detta är specifika siffror för just denna studie.

Tabell 10. En uppskattad kostnad för skotarens transportarbete presenteras i tabellen. Körtiden och en kostnad per G_0 -timme är produkterna till uträkningen och presenteras under en medelhastighet

<i>Trakt 2</i>	<i>Kostnad för körtid, medelhastighet 0,61 m/s (sek)</i>	<i>Kostnad för körtid, medelhastighet 0,7 m/s (sek)</i>	<i>Kostnad för körtid, medelhastighet 0,8 m/s (sek)</i>
Scenario A	15 825	13 546	11 900
Scenario B, sortimentsrent	12 660	11 014	9622
Scenario B, mixade sortiment	11 900	10 381	8989
Scenario C, sortimentsrent	13 546	11 900	10 381
Scenario C, mixade sortiment	12 787	11 141	9748
Scenario D, sortimentsrent	11 520	10 001	8862
Scenario D, mixade sortiment	10 761	9368	8229

Resultatanalys

De fyra olika scenarierna bör ställas mot varandra i en viss ordningsföljd för enklare förståelse av jämförelsen. Först bör scenario A, den verkliga skotningen, ställas mot scenario B. Scenario B har överfarter och avlägg placerade på samma ställen som scenario A. Detta motsvarar alltså datorns sätt att skota trakterna med samma utgångsläge som skotaren haft i verkligheten. Detta bör visa den uppnåbara teoretiska förbättringen som en optimering kan tillföra skotningsarbetet. Dock innehåller verkligheten oförutsägbara faktorer som datamaterialet inte fångar in vilket gör optimeringen teoretisk. Skall den optimerade lösningen implementeras i verkligheten får inga av dessa oförutsedda händelser ske för då bryts den optimala följderna för skotningsarbetet. En känslighetsanalys kan göras för att ta reda på när och var optimeringen är känsligast för störning, men grundproblematiken kvarstår ändå.

Att jämföra scenario D med A kan då tyckas vara mer relevant eftersom det i scenario D är skotarens GPS-logg som är grunden till vägnätet som ruttoptimeringen sker på.

Samma körvägsnät ger dock enligt resultatet den längsta körda sträckan och samtidigt den kortaste körda sträckan. Vägnätet är visserligen väldigt finmaskigt jämfört med ett optimerat vägnät och därför är det kanske inte konstigt att en ruttoptimering klarar minska sträckan väldigt mycket. Många effektiva vägval finns att tillgå.

En annan, antagligen huvudanledning till den stora differensen mellan scenario A och D lär vara att vägnätet inte blir återgivet korrekt i scenario D. Virkeshögarnas fysiska egenskaper (att de tar upp plats på hygget) finns inte beaktad i ruttoptimeringen. Detta gör att alla vägar kan användas från första stund vilket blir orealistiskt. Optimeringen bör ta hänsyn till virkets fysiska egenskaper för att få trovärdiga utfall eftersom virke i början hindrar vissa vägsträckningar. Detta skulle direkt tvinga skotaren längre vägval.

Men oavsett hur väl verkligheten återspeglas är scenario D endast möjligt att utföra efter att skotaren slutfört sitt arbete eftersom skotarens GPS-logg utgör vägnätet. Scenariot är därmed inte relevant i operativt arbete för skogsbruket där resultatet måste erhållas före skotningsarbetet startar. Däremot kan det vara intressant vid utvecklande och verifiering av optimeringen att jämföra scenario D mot verkligheten. Kan optimeringen få nyckeltal på scenario D som stämmer bra överens med det verkliga utförandets nyckeltal kan detta betyda att den lyckats att följa en skotarförarens körsätt relativt väl.

Scenario C ska ses som ett komplement till scenario B. Det är dessa scenariers olika utfall som kan jämföras och sedan användas för att bedöma på vilket sätt trakten bör skotas för kortast körsträcka. Även om optimeringens siffror idag inte kan ge en korrekt totalsiffra för tidsåtgång och skotningskostnad lär i alla fall det fördelaktigaste vägnätet kunna erhållas avseende kortast sträcka. Har optimeringen som konsekvent arbetar på likartat sätt stor distansskillnad mellan två scenarier lär det vara troligt att även en människas utförande tenderar att ha en likartad skillnad. Den relativa skillnaden mellan scenariernas körsträcka är därför det som bör ligga till underlag för beslut som ska tas utifrån optimeringens resultat idag.

De utfallande siffrorna gällande tid och kostnad är endast värden uppskattade utifrån den körda sträckan. Dessa skall därför utläsas som uppskattade och som en visare av trenden, inte som exakta tal. Körsträckan är uppmätt, men som tidigare nämnts är likheten mellan verklighetens och optimeringens skotningsarbete inte helt jämförbar. Därför kan inte heller de presenterade körsträckorna ses som exakta värden, antagligen kommer den minskade körsträckan inte att vara så stor som siffrorna nu anger. Att en minskning sker är dock inget författaren tvivlar på men fler objekt behöver studeras innan en verifiering av hur mycket den minskas.

Diskussion

Det går direkt att konstatera att scenariernas framräknade i dator har kortare sträcka än scenario A som loggats av GPS under den riktiga avverkningen. Mixas sortimenten vid skotningen så blir sträckan kortast, medan sortimentrena lass fortfarande får kortare körsträcka än scenario A men längre än de mixade skotarlassen. Förklaringen bör vara att om sortimentsrena lass ska fyllas behöver skotaren köra fler sträckor mellan olika högar för att få ett fullt lass. Kan sortimenten mixas blir lasset snabbare fyllt och körsträckan som ackumuleras mellan virkeshögarna blir kortare.

Skogsbruket använder idag ofta ett uppskattat medelterrängtransportavstånd som en grundparameter vid ersättningsuträkningar till entreprenörer. Den blir ett mått på transportsträckans andel av det totala arbetet. Medelterrängtransportavståndet kan dock tänkas bli felvisande som styrande parameter i vissa fall. Förhållandet mellan den rena transporttiden och lastningstiden kan se olika ut beroende på trakt och arbetssätt. Är det en stor volym på trakten ligger virket relativt tätt och att fylla ett lass med virke innebär relativt få förflyttningar med maskinen då det går att nå mycket virke från samma position. Skulle volymen däremot inte vara så stor givet samma areal kommer förflyttningar att ske i större utsträckning för att fylla ett lass. Andelen sortimentsrena lass antas också påverka detta förhållande enligt resonemanget tidigare. Transportkörningstidens andel av den totala tiden kommer att variera vilket bör finnas med när det ska räknas fram ersättningar eller annan information. Beräkningen som är möjlig att göra med optimeringen, som baserar sig på mer indata, där hänsyn till långa transportavstånd, kuperad terräng, svårskotade områden och volymer etc. finns med kan bli mer korrekt. Detta bör därför vara intressant att använda för ersättningsberäkningar istället för tidigare uppskattningar.

Innan optimeringen kan användas krävs dock korrekta parametervärden för samtliga moment vid olika förutsättningar. Olika parametrar är olika komplicerade att uppskatta. En parameter som påverkar i hög grad samtidigt som den är svår att uppskatta är lastfyllnadsgraden på skotaren. Den är förarberoende och många gånger högst sannolikt beroende på hur nära skördaren skotaren är i arbetet. Arbetssättet som skotarföraren strävar efter under framryckning till virket är också en påverkande faktor som delvis hör ihop med lastfyllnadsgraden. Ämnar föraren att ackumulera så stor del av körningen som möjligt till några huvudvägar på slutavverkningstrakten eller strävar föraren mot att köra längs nya vägsträckningar för varje lass? Här behövs vidare forskning för att implementering skall bli möjlig.

De nyss angivna parametrarna påverkas i hög grad av vilken förare utför arbetet. Förarpåverkan är en svåruppskattad parameter i skogsbruket generellt. Det kan vara en idé att studera utformning av tidigare beräkningssätt i skogsbruket när människor gick med yxa och såg. Det som studerades i dessa var just den mänskliga påverkan och eller skillnaden mellan människors arbete. Problemet idag är liknande, det är inte vetenskap om tidsåtgång eller hastighet i sig som är intressant utan vilken variation som faktiskt finns mellan förare och hur den skall hanteras. I optimeringen kan inte förarpåverkan "bara" räknas bort om utfallet skall spegla en relevant tidsåtgång för arbetet.

Nyttan av att i förväg kunna uppskatta tidsåtgång och kostnad vid slutavverkningar med ett tänkt verktyg som har analysmöjligheter likt de som rapporten berört bedöms som stor. Men det är inte bara den operativa råvarudelen av skogsnäringen som kan komma ha hjälp av ett funktionellt analysverktyg. Skogsindustrin i helhet har idag ett pressat läge där industrier går

allt mer mot att leverera eller få levererat rätt mängd vid rätt tidpunkt utan att hålla stor lager. Skogsindustrin har traditionellt jobbat med att producera stora volymer som i princip alltid varit efterfrågade. Därför behövs nya arbetsmetoder och kostnadseffektiva lösningar till framtiden som öppnar för möjligheter att prognostisera och planera produktionen. Ett analysverktyg i enlighet med vad rapporten beskrivit kan absolut vara ett sätt att arbeta med problemet. Kan riktiga kostnader och tidsåtgångar uppskattas ganska exakt kommer skogsindustrin antagligen bli konkurrenskraftigare, få mindre spill, ökad leveranssäkerhet för att nämna några exempel. Råvarulager är dyrt samtidigt som det är dyrt att få brist på råvara. Går det att bli mer tidseffektiv genom att ruttoptimera skogsmaskiner kan virke snabbare tas ur skogen och efterfrågevariationer kan snabbare tas itu med. Det är viktigt att hela skogsindustrins näringskedja förbättras i samma takt. Klassiskt så är det industrier som arbetar med benämnda förbättringar. Men det är också oerhört viktigt att ha med råvaruanskaffningen av näringskedjan i tänket också.

Ett enkelt analysverktyg där optimeringen görs mer användarvänlig kan vara en start för kunna testa hur de fungerar i verkligheten. I verktyget skulle delar av arbetsgången från denna rapport kunna implementeras. Alternativ med olika placeringar av avlägg och överfarter skulle kunna analyseras och verktyget skulle som resultat presentera det av de angivna alternativen som minskar körsträckan mest. Utöver att presentera alternativet bör även basvägarna från erhållna från optimeringen illustreras. Då basvägarnas placering optimerats med det använda alternativets placering av avlägg och överfarter som utgångspunkt, lär det finnas fördelar med att använda dessa basvägar för att minska körsträckan. Ett analysverktyg bör därför prioriteras högt då dagens teknik inte sätter stop för utvecklandet.

I efterhand konstateras det att rapporten borde haft resultat från intervjuer med maskinförare och planerare med i resultatet. Det är deras utlåtande om optimeringarna som ger ett svar på hur användbar den utfallande informationen faktiskt är. Det går att räkna på olika sätt men att få något verifierat av en kunnig maskinförare ger ytterligare en nivå i rapporten. Frågor om användarvänlighet, funktionalitet, när kartor används, vilka kartutseenden som är lämpligast och om det behövs olika typer av kartutseenden kan då få ett svar och snabbare kunna komma till användning. Ett etiskt förhållningssätt har egentligen inte behövts ta hänsyn till i och med att organisationer, personliga åsikter och kommentarer helt uteslutits från rapporten. Dock är uteslutandet av åsikter, personer och organisationer ett etiskt ställningstagande i sig och det kan tyckas att deltagande personers och organisationers integritet beaktats maximalt genom att utesluta alla typer av åsikter och även namnen på personerna. Intentionen med uteslutandet av personer och deras åsikter har dock inte i första hand berott på ett etiskt ställningstagande. Snarare är det på grund av studiens utformning som fallstudie, då detta gör att det är av mindre intresse att veta hur människorna i studien skiljer sig. Fallstudiens natur som mindre generaliserbar gör att den mänskliga faktorn bakas in i hela fallstudien då fokus är att utreda hur optimeringen skiljde sig från verkligheten. Maskinoperatörerna ingår då i det som sammanfattas som verkligheten. Om skillnaden mellan operatörer varit fokus i studien hade dock problematiken med ett etiskt förhållningssätt blivit mer komplex då det som studerats faktiskt skulle varit personerna och deras särskiljaktigheter.

Intentionen vid arbetets start var att med vattenkartor kunna ta reda på var det behövs ris för att säkra bärigheten, var det inte skall köras alls och vart det går att köra utan ris. För lite funnen forskning om kopplingen mellan vattenkartor och risbehov gjorde dock den analysen svår att utföra. Detta ledde till att alla områden som enligt DTW-indexet betraktades som fuktiga avstods helt från skotning i optimeringen. Detta blir såklart en felmarginal nödvändig att beakta vid analysen. Några virkeshögar har inte kunnat skotas då de varit helt placerade i

ett område som förbjudits att köra på. De fuktiga partierna på försökstrakterna har dock varit ganska små eller smala till ytan vilket gjort det möjligt att från något ställe nå virket utan att köra i det blåa området så problemet är inte omfattande även om det finns. Däremot har skotningen i verkligheten haft andra spelregler än den optimerade skotningen eftersom den verkliga faktiskt kunnat köra över fuktiga stråk genom att risa vägen först. Hade detta kunnat utföras i optimeringen också, hade resultatet antagligen skiljt sig från nu genom ännu kortare körsträcka för de optimerade scenarierna.

I och med att de enligt DTW-indexet fuktiga markområdena inte skotades alls har åtgärdandet av körskadeproblematiken med optimeringen delvis hamnat i skymundan i rapporten. Därför vill jag pålysa att åtgärda körskador faktiskt är den mest basala grundförutsättningen i optimeringen. Just på grund av att de framanalyserade fuktiga partierna inte skotas alls. Det är dock en grov förenkling av verkligheten när fuktiga områden avsätts helt vilket också är en av rapportens svagheter. Det är sannolikt inte realistiskt att tro att skogsbruket tänker avsätta all fuktig mark liksom det inte heller går att säga att all fuktig mark får körskador om man kör på den. I teorin kommer de optimerade skotningarna att vara markskadefria vilket inte lär vara fallet om körvägarna hade implementerats och utförts i verkligheten. Det som bör kunna sägas utifrån denna grova förenkling är dock att ju fler fuktiga partier som undviks eller skyddas genom förebyggande åtgärder som överfartsbygge, ju färre allvarliga skador lär uppstå. De allvarliga skadorna är enligt den gemensamma bransch-policyn de som är belägna i anslutning till öppet vatten. Och det säger sig självt att håller optimeringen sig helt undan vatten eller förebygger med ris och/eller överfarter på dessa partier förebyggs samtidigt risken för skador klassificerade som allvarliga av policyn.

Slutsats och förslag på vidare forskning

Syftet med studien var att jämföra nyckeltalen körsträcka, medelskotningsavstånd, tidsåtgång samt kostnad mellan olika scenarier för skotning. För att kunna uppfylla syftet skapades två frågeställningar:

1. Hur skiljer sig de optimerade scenarierna mot det verkliga scenariot avseende körd sträcka?
2. Vad blir den uppskattade tids och kostnadsförändringen för de optimerade scenarierna gentemot det verkliga scenariot?

Slutsats

Från optimeringen går det idag inte räkna med att erhålla några faktiska siffror om hur skotningsavståndet kommer att bli, hur stor tidsåtgången är eller hur kostnaden kommer att bli. Däremot kan vi med några alternativa skotningssätt urskilja vilka relativa skillnader som uppstår avseende de nyckeltal som väljs att studera, i studiens fall huvudsakligen körsträckan som varierade mellan 13 – 32 procent för den ena trakten och 11-24 procent för den andra. Utefter dessa skillnader kan sedan beslut tas i avverkningsplaneringen om hur avverkningen ska utföras. Avlägg och eventuella broar över vatten blir ställen där skotaren tvingas till passage och tillsammans med basvägsförslag från optimeringen utgör de ett stöd för maskinföraren med potential att minska körsträckan. Samtidigt som detta görs fungerar optimeringen som underlag till förebyggande åtgärder mot allvarliga körskador. Kan dessa planeras innan maskinerna börjar sitt arbete blir verkställandet enklare att göra och mer troligt genomfört vilket kommer att gynna mark och vatten.

Vidare forskning

Några uppslag för vidare forskning och utveckling.

- En mer generaliserbar studie bör utföras där fokus riktas mot hur stor minskning av körsträckan som kan göras. Detta för att kunna hänföra resultaten på svenskt skogsbruk i större omfattning.
- Optimeringen bör utvecklas så att utfallande tid och kostnad kan användas till beslutsunderlag. Då kan den användas för att prognostisera och planera skogsbruket.
- För att ytterligare ta steget mot att använda optimeringar till att planera skotningsarbetet behöver ruttplaneringen som faller ut studeras. Verifiering av om körvägarna är användbara och hur föraren påverkas i sitt arbete bör göras.
- Användarvänlighet och implementering av arbetssätt med beslutsstöden bör också studeras för att veta hur informationen på bästa sätt når fram till användarna.
- Utredning av hur stor minskning av allvarliga körskador som sker med hjälp av verktyget och hur den påverkar mark och vatten i andra avseenden.

Referenser

- Arvidsson, P.A., Eriksson, P., Eriksson, I., Ronnqvist, S.M., Westerlund, A. & Igeklint, P. (1999). Smarter route planning for forwarders benefits both profitability and the environment. Uppsala: Resultat - SkogForsk (22), 4 pp.
- 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.
- Bertsekas, D. (1999). Nonlinear programming: 2nd Edition. Belmont: Athena Scientific
- Brunberg, T. (2012). Skogsbrukets kostnader och intäkter 2011. Uppsala: Skogforsk.
- Burrough, P.A. (1998). Principles of geographical information systems. New York: Oxford University Press.
- Bell, J. (2006). Introduktion till forskningsmetodik. Lund: Studentlitteratur.
- Denscombe, M. (2009). Forskningshandboken: för småskaliga forskningsprojekt inom samhällsvetenskaperna. Lund: Studentlitteratur.
- Eld, L.E. (1970). Organization and method analyses for skidding short wood by forwarder. Redogorelse. ForsknStift. Skogsarb. Stockh. (17), 27-27.
- Flisberg, P., Forsberg, M. & Ronnqvist, M. (2007). Optimization based planning tools for routing of forwarders at harvest areas. Canadian Journal of Forest Research 37(11), 2153-2163.
- Holmgren, P. (1995). Avdelningsfritt skogsbruk, gränslöst flexibelt. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Jenson, S.K. & Domingue, J.O. (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information-system analysis. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 54(11), 1593-1600.
- Johansson, A. (1998). Bokslut för svenskt skogsbruk 1997. Uppsala: Skogforsk, Resultat Nr 22, 1998.
- Kardell, L. (1993). Skogsproduktion i gamla grustag. Uppsala: Institutionen för skoglig landskapsvård.
- Lantmäteriet, (2014). Flyg och satellitbilder. [online] Tillgänglig: <http://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/Flyg--och-satellitbilder/> [2014-02-05].
- Mohtashami, S. (2011). Planning forest routes for silvicultural activities using GIS based techniques - A case study of Selesjö in Östergötland, Sweden. Diss. Stockholm:Royal institute of technology (KTH).
- Murphy, P.N.C., Ogilvie, J., Castonguay, M., Zhang, C.-f., Meng, F.-R. & Arp, P.A. (2008). Improving forest operations planning through high-resolution flowchannel and wetareas mapping. The Forestry Chronicle, Vol 84.
- Murphy, P.N.C., Ogilvie, J., Meng, F.R., White, B., Bhatti, J.S. & Arp, P.A. (2011). Modelling and mapping topographic variations in forest soils at high resolution: A case study. Ecological Modelling 222(14), 2314-2332.
- Nurminen, T., Korpunen, H. & Uusitalo, J. (2006). Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. Silva Fennica 40(2), 335-363.
- Silversides, C.R. & Sundberg, U. (1988). Operational efficiency in forestry. Vol. 1, Analysis. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Skogforsk. (2014). Om oss [Online] Tillgänglig: <http://www.skogforsk.se/sv/Om-oss/> [2014-05-22]
- Skogsencyklopedin. (2014). Skogsencyklopedin [Online] Tillgänglig: <http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/Skogsencyklopedin/> [2014-05-22]
- SLU, (2014). Mer om skoglig fjärranalys [Online] Tillgänglig: <http://www.slu.se/sv/institutioner/skoglig-resurshushallning/avdelningar/skoglig-fjarranalys/mer-info/>[2014-02-05]
- Sonesson, J., Mohtashami, S., Bergkvist, I., Söderman, U., Barth, A., Jönsson, P., Mörk, A., Jonmeister, T. & Thor, M. (2012). Decision support and methods to minimise ground impact in logging. Uppsala: Skogforsk.
- Søvde, N-E., Løkketangen, A., Sætersdal, M. (2011). Optimizing terrain transportation with environmental constraints – Key habitats vs profit. Formec. Austria
- Søvde, N-E., Løkketangen, A. & Talbot, B. (2013). Applicability of the GRASP metaheuristic method in designing machine trail layout. Forest science and technology, 9:4, 187-194, DOI: 10.1080/21580103.2013.839279
- af Ström, I.A. (1822). Förslag till en förbättrad skogshushållning i Sverige. Kungliga Lantbruksakademien, Stockholm.
- Tarboton, D.G. Bras, R.L. & Rodriguez-Iturbe, I. (1991). ON THE EXTRACTION OF CHANNEL NETWORKS FROM DIGITAL ELEVATION DATA. Hydrological Processes 5(1), 81-100.
- Tiger, K. (2012). Jämförelse av skattat och kört skotningsavstånd. Diss. Umeå: Masterarbete.
- White, B., Ogilvie, J., Campbell, D.M.H., Hiltz, D., Gauthier, B., Chisholm, H.K., Wen, H.K., Murphy, P.N.C. & Arp, P.A. (2012). Using the Cartographic Depth-to-Water Index to Locate Small Streams and Associated Wet Areas across Landscapes. Canadian Water Resources Journal 37(4), 333-347.
- Yin, R.K. (2003). Case study research - design and methods. Thousand Oaks: Sage Publications.

Personlig kommunikation

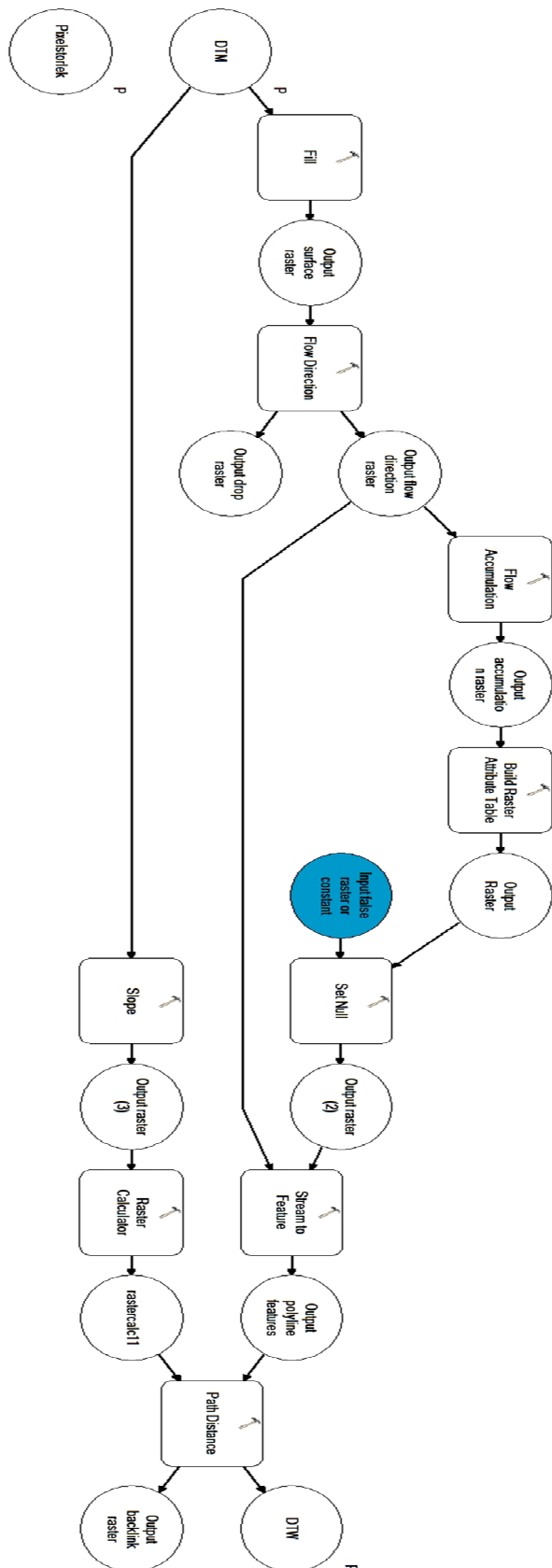
Brunberg, Torbjörn. (2014). forskare Skogforsk. Kontakt under våren 2014.

Flisberg, Patrik. (2014). Doktor inom optimeringslära. Kontakt under våren 2014.

Rönnqvist, Mikael (2014). Professor inom optimeringslära. Kontakt under våren 2014.

Bilagor

Bilaga 1.



Publications from The Department of Forest Products, SLU, Uppsala

Rapporter/Reports

1. Ingemarson, F. 2007. De skogliga tjänstemännens syn på arbetet i Gudruns spår. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
2. Lönnstedt, L. 2007. *Financial analysis of the U.S. based forest industry*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
4. Stendahl, M. 2007. *Product development in the Swedish and Finnish wood industry*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
5. Nylund, J-E. & Ingemarson, F. 2007. *Forest tenure in Sweden – a historical perspective*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
6. Lönnstedt, L. 2008. *Forest industrial product companies – A comparison between Japan, Sweden and the U.S.* Department of Forest Products, SLU, Uppsala
7. Axelsson, R. 2008. Forest policy, continuous tree cover forest and uneven-aged forest management in Sweden's boreal forest. Licentiate thesis. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
8. Johansson, K-E.V. & Nylund, J-E. 2008. NGO Policy Change in Relation to Donor Discourse. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
9. Uetimane Junior, E. 2008. Anatomical and Drying Features of Lesser Known Wood Species from Mozambique. Licentiate thesis. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
10. Eriksson, L., Gullberg, T. & Woxblom, L. 2008. Skogsbruksmetoder för privatskogs-brukaren. *Forest treatment methods for the private forest owner*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
11. Eriksson, L. 2008. Åtgärdsbeslut i privatskogsbruket. *Treatment decisions in privately owned forestry*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
12. Lönnstedt, L. 2009. *The Republic of South Africa's Forests Sector*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
13. Blicharska, M. 2009. *Planning processes for transport and ecological infrastructures in Poland – actors' attitudes and conflict*. Licentiate thesis. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
14. Nylund, J-E. 2009. *Forestry legislation in Sweden*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
15. Björklund, L., Hesselman, J., Lundgren, C. & Nylinder, M. 2009. Jämförelser mellan metoder för fastvolymbestämning av stockar. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
16. Nylund, J-E. 2010. *Swedish forest policy since 1990 – reforms and consequences*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
17. Eriksson, L., m.fl. 2011. Skog på jordbruksmark – erfarenheter från de senaste decennierna. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
18. Larsson, F. 2011. Mätning av bränsleved – Fastvolym, torrhalt eller vägning? Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
19. Karlsson, R., Palm, J., Woxblom, L. & Johansson, J. 2011. Konkurrenskraftig kundanpassad affärsutveckling för lövträ - Metodik för samordnad affärs- och teknikutveckling inom leverantörskedjan för björkämnen. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
20. Hannerz, M. & Bohlin, F., 2012. Markägares attityder till plantering av poppel, hybridasp och *Salix* som energigrödor – en enkätundersökning. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
21. Nilsson, D., Nylinder, M., Fryk, H. & Nilsson, J. 2012. Mätning av grotflis. *Measuring of fuel chips*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
22. Sjöstedt, V. 2013. *The Role of Forests in Swedish Media Response to Climate Change – Frame analysis of media 1992-2010*. Licentiate thesis. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
23. Nylinder, M. & Fryk, H. 2014. Mätning av delkvistad energived. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala

Examensarbeten/Master Thesis

1. Stangebye, J. 2007. Inventering och klassificering av kvarlämnad virkesvolym vid slutavverkning. *Inventory and classification of non-cut volumes at final cut operations*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
2. Rosenquist, B. 2007. Bidragsanalys av dimensioner och postningar – En studie vid Vida Alvesta. *Financial analysis of economic contribution from dimensions and sawing patterns – A study at Vida Alvesta*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
3. Ericsson, M. 2007. En lyckad affärsrelation? – Två fallstudier. *A successful business relation? – Two case studies*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
4. Ståhl, G. 2007. Distribution och försäljning av kvalitetsfuru – En fallstudie. *Distribution and sales of high quality pine lumber – A case study*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
5. Ekholm, A. 2007. Aspekter på flyttkostnader, fastighetsbildning och fastighetstorlekar. *Aspects on fixed harvest costs and the size and dividing up of forest estates*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
6. Gustafsson, F. 2007. Postningsoptimering vid sönderdelning av fura vid Säters Ångsåg. *Saw pattern optimising for sawing Scots pine at Säters Ångsåg*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
7. Götherström, M. 2007. Följdeckter av olika användningssätt för vedrävara – en ekonomisk studie. *Consequences of different ways to utilize raw wood – an economic study*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
8. Nashr, F. 2007. *Profiling the strategies of Swedish sawmilling firms*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
9. Högsborn, G. 2007. Sveriges producenter och leverantörer av limträ – En studie om deras marknader och kundrelationer. *Swedish producers and suppliers of glulam – A study about their markets and customer relations*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
10. Andersson, H. 2007. *Establishment of pulp and paper production in Russia – Assessment of obstacles*. Etablering av pappers- och massaproduktion i Ryssland – bedömning av möjliga hinder. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
11. Persson, F. 2007. Exponering av trägolv och lister i butik och på mässor – En jämförande studie mellan sport- och bygghandeln. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
12. Lindström, E. 2008. En studie av utvecklingen av drivningsnett i skogsbruket. *A study of the net conversion contribution in forestry*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
13. Karlhager, J. 2008. *The Swedish market for wood briquettes – Production and market development*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
14. Höglund, J. 2008. *The Swedish fuel pellets industry: Production, market and standardization*. Den Svenska bränslepelletsindustrin: Produktion, marknad och standardisering. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
15. Trulson, M. 2008. Värmebehandlat trä – att inhämta synpunkter i produktutvecklingens tidiga fas. *Heat-treated wood – to obtain opinions in the early phase of product development*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
16. Nordlund, J. 2008. Beräkning av optimal batchstorlek på gavelspikningslinjer hos Vida Packaging i Hestra. *Calculation of optimal batch size on cable drum flanges lines at Vida Packaging in Hestra*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
17. Norberg, D. & Gustafsson, E. 2008. *Organizational exposure to risk of unethical behaviour – In Eastern European timber purchasing organizations*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
18. Bäckman, J. 2008. Kundrelationer – mellan Setragroup AB och bygghandeln. *Customer Relationshipship – between Setragroup AB and the DIY-sector*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
19. Richnau, G. 2008. *Landscape approach to implement sustainability policies? - value profiles of forest owner groups in the Helgeå river basin, South Sweden*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
20. Sokolov, S. 2008. *Financial analysis of the Russian forest product companies*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
21. Färlin, A. 2008. *Analysis of chip quality and value at Norske Skog Pisa Mill, Brazil*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
22. Johansson, N. 2008. *An analysis of the North American market for wood scanners*. En analys över den Nordamerikanska marknaden för träscannern. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
23. Terzieva, E. 2008. *The Russian birch plywood industry – Production, market and future prospects*. Den ryska björkplywoodindustrin – Produktion, marknad och framtida utsikter. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
24. Hellberg, L. 2008. Kvalitativ analys av Holmen Skogs internprissättningsmodell. *A qualitative analysis of Holmen Skogs transfer pricing method*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala

25. Skoglund, M. 2008. Kundrelationer på Internet – en utveckling av Skandias webbplats. *Customer relationships through the Internet – developing Skandia's homepages*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
26. Hesselman, J. 2009. Bedömning av kunders uppfattningar och konsekvenser för strategisk utveckling. *Assessing customer perceptions and their implications for strategy development*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
27. Fors, P-M. 2009. *The German, Swedish and UK wood based bio energy markets from an investment perspective, a comparative analysis*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
28. Andrae, E. 2009. *Liquid diesel biofuel production in Sweden – A study of producers using forestry- or agricultural sector feedstock*. Produktion av förnyelsebar diesel – en studie av producenter av biobränsle från skogs- eller jordbrukssektorn. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
29. Barrstrand, T. 2009. Oberoende aktörer och Customer Perceptions of Value. *Independent actors and Customer Perception of Value*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
30. Fällidin, E. 2009. Påverkan på produktivitet och produktionskostnader vid ett minskat antal timmerlängder. *The effect on productivity and production cost due to a reduction of the number of timber lengths*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
31. Ekman, F. 2009. Stormskadornas ekonomiska konsekvenser – Hur ser försäkringsersättningsnivåerna ut inom familjeskogsbruket? *Storm damage's economic consequences – What are the levels of compensation for the family forestry?* Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
32. Larsson, F. 2009. Skogsmaskinföretagarnas kundrelationer, lönsamhet och produktivitet. *Customer relations, profitability and productivity from the forest contractors point of view*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
33. Lindgren, R. 2009. Analys av GPS Timber vid Rundviks sågverk. *An analysis of GPS Timber at Rundvik sawmill*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
34. Rådberg, J. & Svensson, J. 2009. Svensk skogsindustris framtida konkurrensfördelar – ett medarbetarperspektiv. *The competitive advantage in future Swedish forest industry – a co-worker perspective*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
35. Franksson, E. 2009. Framtidens rekrytering sker i dag – en studie av ingenjörstudenters uppfattningar om Södra. *The recruitment of the future occurs today – A study of engineering students' perceptions of Södra*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
36. Jonsson, J. 2009. *Automation of pulp wood measuring – An economical analysis*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
37. Hansson, P. 2009. *Investment in project preventing deforestation of the Brazilian Amazonas*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
38. Abramsson, A. 2009. Sydsvenska köpsågverksstrategier vid stormtimmerlagring. *Strategies of storm timber storage at sawmills in Southern Sweden*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
39. Fransson, M. 2009. Spridning av innovationer av träprodukter i byggvaruhandeln. *Diffusion of innovations – contrasting adopters views with non adopters*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
40. Hassan, Z. 2009. *A Comparison of Three Bioenergy Production Systems Using Lifecycle Assessment*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
41. Larsson, B. 2009. Kundens uppfattade värde av svenska sågverksföretags arbete med CSR. *Customer perceived value of Swedish sawmill firms work with CSR*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
42. Raditya, D. A. 2009. *Case studies of Corporate Social Responsibility (CSR) in forest products companies - and customer's perspectives*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
43. Cano, V. F. 2009. *Determination of Moisture Content in Pine Wood Chips*. Bachelor Thesis. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
44. Arvidsson, N. 2009. Argument för prissättning av skogsfastigheter. *Arguments for pricing of forest estates*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
45. Stjernberg, P. 2009. Det hyggesfria skogsbruket vid Ytringe – vad tycker allmänheten? *Continuous cover forestry in Ytringe – what is the public opinion?* Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
46. Carlsson, R. 2009. *Fire impact in the wood quality and a fertilization experiment in Eucalyptus plantations in Guangxi, southern China*. Brandinverkan på vedkvaliteten och tillväxten i ett gödselexperiment i Guangxi, södra Kina. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
47. Jerenius, O. 2010. Kundanalys av tryckpappersförbrukare i Finland. *Customer analysis of paper printers in Finland*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
48. Hansson, P. 2010. Orsaker till skillnaden mellan beräknad och inmätt volym grot. *Reasons for differences between calculated and scaled volumes of tops and branches*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala

49. Eriksson, A. 2010. *Carbon Offset Management - Worth considering when investing for reforestation CDM*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
50. Fallgren, G. 2010. På vilka grunder valdes limträleverantören? – En studie om hur Setra bör utveckla sitt framtida erbjudande. *What was the reason for the choice of glulam deliverer? -A studie of proposed future offering of Setra*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
51. Ryno, O. 2010. Investeringskalkyl för förbättrat värdeutbyte av furu vid Krylbo sågverk. *Investment Calculation to Enhance the Value of Pine at Krylbo Sawmill*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
52. Nilsson, J. 2010. Marknadsundersökning av färdigkapade produkter. *Market investigation of pre cut lengths*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
53. Mörner, H. 2010. Kundkrav på biobränsle. *Customer Demands for Bio-fuel*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
54. Sunesdotter, E. 2010. Affärsrelationers påverkan på Kinnarps tillgång på FSC-certifierad råvara. *Business Relations Influence on Kinnarps' Supply of FSC Certified Material*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
55. Bengtsson, W. 2010. Skogsfastighetsmarknaden, 2005-2009, i södra Sverige efter stormarna. *The market for private owned forest estates, 2005-2009, in the south of Sweden after the storms*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
56. Hansson, E. 2010. Metoder för att minska kapitalbindningen i Stora Enso Bioenergis terminallager. *Methods to reduce capital tied up in Stora Enso Bioenergy terminal stocks*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
57. Johansson, A. 2010. Skogsallmänningars syn på deras bankrelationer. *The commons view on their bank relations*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
58. Holst, M. 2010. Potential för ökad specialanpassning av trävaror till byggföretag – nya möjligheter för träleverantörer? *Potential for greater customization of the timber to the construction company – new opportunities for wood suppliers?* Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
59. Ranudd, P. 2010. Optimering av råvaruflöden för Setra. *Optimizing Wood Supply for Setra*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
60. Lindell, E. 2010. Rekreation och Natura 2000 – målkonflikter mellan besökare och naturvård i Stendörrens naturreservat. *Recreation in Natura 2000 protected areas – visitor and conservation conflicts*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
61. Coletti Pettersson, S. 2010. Konkurrentanalys för Setragroup AB, Skutskär. *Competitive analysis of Setragroup AB, Skutskär*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
62. Steiner, C. 2010. Kostnader vid investering i flisaggregat och tillverkning av pellets – En komparativ studie. *Expenses on investment in wood chipper and production of pellets – A comparative study*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
63. Bergström, G. 2010. Bygghandelns inköpsstrategi för träprodukter och framtida efterfrågan på produkter och tjänster. *Supply strategy for builders merchants and future demands for products and services*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
64. Fuente Tomai, P. 2010. *Analysis of the Natura 2000 Networks in Sweden and Spain*. Bachelor Thesis. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
65. Hamilton, C-F. 2011. Hur kan man öka gallringen hos privata skogsägare? En kvalitativ intervjustudie. *How to increase the thinning at private forest owners? A qualitative questionnaire*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
66. Lind, E. 2011. Nya skogsbaserade material – Från Labb till Marknad. *New wood based materials – From Lab to Market*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
67. Hulusjö, D. 2011. Förstudie om e-handel vid Stora Enso Packaging AB. *Pilot study on e-commerce at Stora Enso Packaging AB*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
68. Karlsson, A. 2011. Produktionsekonomi i ett lövsågverk. *Production economy in a hardwood sawmill*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
69. Bränngård, M. 2011. En konkurrensanalys av SCA Timbers position på den norska bygghandelsmarknaden. *A competitive analyze of SCA Timbers position in the Norwegian builders merchant market*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
70. Carlsson, G. 2011. Analysverktyget Stockluckan – fast eller rörlig postning? *Fixed or variable tuning in sawmills? – an analysis model*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
71. Olsson, A. 2011. Key Account Management – hur ett sågverksföretag kan hantera sina nyckelkunder. *Key Account Management – how a sawmill company can handle their key customers*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala

72. Andersson, J. 2011. Investeringsbeslut för kraftvärmeproduktion i skogsindustrin. *Investment decisions for CHP production in The Swedish Forest Industry*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
73. Bexell, R. 2011. Hög fyllnadsgrad i timmerlagret – En fallstudie av Holmen Timbers sågverk i Braviken. *High filling degree in the timber yard – A case study of Holmen Timber's sawmill in Braviken*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
74. Bohlin, M. 2011. Ekonomisk utvärdering av ett grantimmersortiment vid Bergkvist Insjön. *Economic evaluation of one spruce timber assortment at Bergkvist Insjön*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
75. Enqvist, I. 2011. Psykosocial arbetsmiljö och riskbedömning vid organisationsförändring på Stora Enso Skutskär. *Psychosocial work environment and risk assessment prior to organizational change at Stora Enso Skutskär*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
76. Nylinder, H. 2011. Design av produktkalkyl för vidareförädlade trävaror. *Product Calculation Design For Planed Wood Products*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
77. Holmström, K. 2011. Viskosmassa – framtid eller fluga. *Viscose pulp – fad or future*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
78. Holmgren, R. 2011. Norra Skogsägarnas position som trävaruleverantör – en marknadsstudie mot bygghandeln i Sverige och Norge. *Norra Skogsägarnas position as a wood-product supplier – A market investigation towards the builder-merchant segment in Sweden and Norway*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
79. Carlsson, A. 2011. Utvärdering och analys av drivningsentreprenörer utifrån offentlig ekonomisk information. *Evaluation and analysis of harvesting contractors on the basis of public financial information*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
80. Karlsson, A. 2011. Förutsättningar för betalningsgrundande skördarmätning hos Derome Skog AB. *Possibilities for using harvester measurement as a basis for payment at Derome Skog AB*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
81. Jonsson, M. 2011. Analys av flödesekonomi - Effektivitet och kostnadsutfall i Sveaskogs verksamhet med skogsbränsle. *Analysis of the Supply Chain Management - Efficiency and cost outcomes of the business of forest fuel in Sveaskog*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
82. Olsson, J. 2011. Svensk fartygsimport av fasta trädbaserade biobränslen – en explorativ studie. *Swedish import of solid wood-based biofuels – an exploratory study*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
83. Ols, C. 2011. *Retention of stumps on wet ground at stump-harvest and its effects on saproxylic insects*. Bevarande av stubbar vid stubbrytning på våt mark och dess inverkan på vedlevande insekter. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
84. Börjegen, M. 2011. Utvärdering av framtida mätmetoder. *Evaluation of future wood measurement methods*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
85. Engström, L. 2011. Marknadsundersökning för högvärdiga produkter ur klenkubb. *Market survey for high-value products from thin sawn timber*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
86. Thorn-Andersen, B. 2012. Nuanskaffningskostnad för Jämtkrafts fjärrvärmeanläggningar. *Today-acquisition-cost for the district heating facilities of Jämtkraft*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
87. Norlin, A. 2012. Skogsägarföreningarnas utveckling efter krisen i slutet på 1970-talet – en analys av förändringar och trender. *The development of forest owners association's in Sweden after the crisis in the late 1970s – an analysis of changes and trends*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
88. Johansson, E. 2012. Skogsbränslebalansen i Mälardalsområdet – Kraftvärmeverkens syn på råvaruförsörjningen 2010-2015. *The balance of wood fuel in the region of Mälardalen – The CHP plants view of the raw material supply 2010-2015*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
89. Biruk, K. H. 2012. *The Contribution of Eucalyptus Woodlots to the Livelihoods of Small Scale Farmers in Tropical and Subtropical Countries with Special Reference to the Ethiopian Highlands*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
90. Otuba, M. 2012. *Alternative management regimes of Eucalyptus: Policy and sustainability issues of smallholder eucalyptus woodlots in the tropics and sub-tropics*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
91. Edgren, J. 2012. *Sawn softwood in Egypt – A market study*. En marknadsundersökning av den Egyptiska barrträmarknaden. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
92. Kling, K. 2012. *Analysis of eucalyptus plantations on the Iberian Peninsula*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
93. Heikkinen, H. 2012. Mätning av sorteringsdiameter för talltimmer vid Kastets sågverk. *Measurement of sorting diameter for pine logs at Kastet Sawmill*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala

94. Munthe-Kaas, O. S. 2012. Markedsanalyse av skogsforsikring i Sverige og Finland. *Market analysis of forest insurance in Sweden and Finland*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
95. Dietrichson, J. 2012. Specialsortiment på den svenska rundvirkesmarknaden – En kartläggning av virkeshandel och -mätning. *Special assortments on the Swedish round wood market – A survey of wood trade and measuring*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
96. Holmquist, V. 2012. Timmerlängder till Iggesunds sågverk. *Timber lengths for Iggesund sawmill*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
97. Wallin, I. 2012. *Bioenergy from the forest – a source of conflict between forestry and nature conservation? – an analysis of key actor's positions in Sweden*. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
98. Ederyd, M. 2012. Användning av avverkningslikvider bland svenska enskilda skogsägare. *Use of harvesting payments among Swedish small-scale forest owners*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
99. Högberg, J. 2012. Vad påverkar marknadsvärdet på en skogsfastighet? - En statistisk analys av markvärdet. *Determinants of the market value of forest estates. - A statistical analysis of the land value*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
100. Sääf, M. 2012. Förvaltning av offentliga skogsfastigheter – Strategier och handlingsplaner. *Management of Municipal Forests – Strategies and action plans*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
101. Carlsson, S. 2012. Faktorer som påverkar skogsfastigheters pris. *Factors affecting the price of forest estates*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
102. Ek, S. 2012. FSC-Fairtrade certifierade trävaror – en marknadsundersökning av två byggvaruhandlare och deras kunder. *FSC-Fairtrade labeled wood products – a market investigation of two builders' merchants, their business customers and consumers*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
103. Bengtsson, P. 2012. Rätt pris för timmerråvaran – en kalkylmodell för Moelven Vänerply AB. *Right price for raw material – a calculation model for Moelven Vänerply AB*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
104. Hedlund Johansson, L. 2012. Betalningsplaner vid virkesköp – förutsättningar, möjligheter och risker. *Payment plans when purchasing lumber – prerequisites, possibilities and risks*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
105. Johansson, A. 2012. *Export of wood pellets from British Columbia – a study about the production environment and international competitiveness of wood pellets from British Columbia*. Träpelletsexport från British Columbia – en studie om förutsättningar för produktion och den internationella konkurrenskraften av träpellets från British Columbia. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
106. af Wählberg, G. 2012. Strategiska val för Trivselhus, en fallstudie. *Strategic choices for Trivselhus, a case study*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
107. Norlén, M. 2012. Utvärdering av nya affärsmråden för Luna – en analys av hortikulturindustrin inom EU. *Assessment of new market opportunities for Luna – an analysis of the horticulture industry in the EU*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
108. Pilo, B. 2012. Produktion och beståndsstruktur i fullskiktad skog skött med blädningsbruk. *Production and Stand Structure in Uneven-Aged Forests managed by the Selection System*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
109. Elmkvist, E. 2012. Den ekonomiska konsekvensen av ett effektiviseringsprojekt – fallet förbättrad timmersortering med hjälp av röntgen och 3D-mätning. *The economic consequences of an efficiency project - the case of improved log sorting using X-ray and 3D scanning*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
110. Pihl, F. 2013. Beslutsunderlag för besökarundersökningar - En förstudie av Upplandsstiftelsens naturområden. *Decision Basis for Visitor Monitoring – A pre-study of Upplandsstiftelsen's nature sites*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
111. Hulusjö, D. 2013. *A value chain analysis for timber in four East African countries – an exploratory case study*. En värdekedjeanalys av virke i fyra Östafrikanska länder – en explorativ fallstudie. Bachelor Thesis. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
112. Ringborg, N. 2013. Likviditetsanalys av belånade skogsfastigheter. *Liquidity analysis of leveraged forest properties*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
113. Johnsson, S. 2013. Potential för pannvedsförsäljning i Nederländerna - en marknadsundersökning. *Potential to sell firewood in the Netherlands – a market research*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
114. Nielsen, C. 2013. Innovationsprocessen: Från förnyelsebart material till produkt. *The innovation process: From renewable material to product*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
115. Färdeman, D. 2013. Förutsättningar för en lyckad lansering av "Modultrall"- En studie av konsumenter, små byggföretag och bygghandeln. *Prerequisites for a successful launch of Modular Decking - A study of consumers, small building firms and builders merchants firms*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala

116. af Ekenstam, C. 2013. Produktionsplanering – fallstudie av sågverksplanering, kontroll och hantering. *Production – case study of sawmill Planning Control and Management*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
117. Sundby, J. 2013. Affärsrådgivning till privatskogsägare – en marknadsundersökning. *Business consultation for non-industry private forest owners – a market survey*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
118. Nylund, O. 2013. Skogsbränslekedjan och behov av avtalsmallar för skogsbränsleentreprenad. *Forest fuel chain and the need for agreement templates in the forest fuel industry*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
119. Hoflund, P. 2013. Sågklassläggning vid Krylbo såg – En studie med syfte att öka sågutbytet. *Saw class distribution at Krylbo sawmill - a study with the aim to increase the yield*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
120. Snögren, J. 2013. Kundportföljen i praktiken – en fallstudie av Orsa Lamellträ AB. *Customer portfolio in practice – a case study of Orsa Lamellträ AB*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
121. Backman, E. 2013. Förutsättningar vid köp av en skogsfastighet – en analys av olika köparens kassaflöde vid ett fastighetsförvärv. *Conditions in an acquisition of a forest estate – an analysis of different buyers cash flow in a forest estate acquisition*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
122. Jacobson Thalén, C. 2013. Påverkan av e-handelns framtida utveckling på pappersförpackningsbranschen. *The future impact on the paper packaging industry from online sales*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
123. Johansson, S. 2013. Flödesstyrning av biobränsle till kraftvärmeverk – En fallstudie av Ryaverket. *Suggestions for a more efficient flow of biofuel to Rya Works (Borås Energi och Miljö AB)*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
124. von Ehrenheim, L. 2013. *Product Development Processes in the Nordic Paper Packaging Companies: An assessment of complex processes*. Produktutvecklingsprocesser i de nordiska pappersförpackningsföretagen: En analys av komplexa processer. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
125. Magnusson, D. 2013. Investeringsbedömning för AB Karl Hedins Sågverk i Krylbo. *Evaluation of an investment at AB Karl Hedin's sawmill in Krylbo*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
126. Fernández-Cano, V. 2013. *Epoxidised linseed oil as hydrophobic substance for wood protection - technology of treatment and properties of modified wood*. Epoxidiserad linolja som hydrofob substans för träskydd - teknologi för behandling och egenskaper av modifierat trä. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
127. Lönnqvist, W. 2013. Analys av värdeoptimeringen i justerverket – Rörvik Timber. *Analysis of Value optimization in the final grading – Rörvik Timber*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
128. Pettersson, T. 2013. Rätt val av timmerråvara – kan lönsamheten förbättras med en djupare kunskap om timrets ursprung? *The right choice of saw logs – is it possible to increase profitability with a deeper knowledge about the saw logs' origin?* Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
129. Schotte, P. 2013. Effekterna av en ny råvara och en ny produktmix i en komponentfabrik. *Effects of a new raw material and a new productmix in a component factory*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
130. Thiger, E. 2014. Produktutveckling utifrån nya kundinsikter. *Product development based on new customer insights*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
131. Olsson, M. 2014. Flytande sågklassläggning på Iggesunds sågverk. *Flexible sorting of logs at Iggesund sawmill*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
132. Eriksson, F. 2014. Privata skogsägares betalningsvilja för skogsförvaltning. *Non-industrial private forest owners' willingness to pay for forest administration*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
133. Hansson, J. 2014. Marknadsanalys av douglasgran (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) i Sverige, Danmark och norra Tyskland. *Market analysis of douglas fir (Pseudotsuga menziesii [Mirb.] Franco) in Sweden, Denmark and northern Germany*.
134. Magnusson, W. 2014. *Non-state actors' role in the EU forest policy making – A study of Swedish actors and the Timber Regulation negotiations*. Icke statliga aktörers roll i EU:s skogspolicy – En studie av svenska aktörer i förhandlingarna om timmerförordningen. Department of Forest Products, SLU, Uppsala
135. Berglund, M. 2014. Logistisk optimering av timmerplan – En fallstudie av Kåge såg. *Logistical optimization of the timber yard – A case study of Kåge såg*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
136. Ahlbäck, C.H. 2014. Skattemässiga aspekter på generationsskiftet av skogsfastigheter. *Fiscal aspects of ownership succession within forest properties*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala
137. Wretemark, A. 2014. Skogsfastigheters totala produktionsförmåga som förklarande variabel vid prissättning. *Forest estate timber producing capability as explainable variable for pricing*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala

138. Friberg, G. 2014. En analysmetod för att optimera skotning mot minimerad körsträcka och minimerad påverkan på mark och vatten. *A method to optimize forwarding towards minimized driving distance and minimized effect on soil and water*. Institutionen för skogens produkter, SLU, Uppsala

Distribution
Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skogens produkter
Department of Forest Products
Box 7008
SE-750 07 Uppsala, Sweden
Tfn. +46 (0) 18 67 10 00
Fax: +46 (0) 18 67 34 90
E-mail: sprod@slu.se