



Beslutsstöd för virkeshandel och flödesplanering

Vidareutveckling av NETRA

*Development of a wood trade and flow planning
decision support system*

Björn Edlund

Arbetsrapport 425 2014
Examensarbete 30hp A2E
Jägmästarprogrammet

Handledare:
Dag Fjeld

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skoglig resurshushållning
901 83 UMEÅ
www.slu.se/srh
Tfn: 090-786 81 00



ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR-425-SE

Beslutsstöd för virkeshandel och flödesplanering

Vidareutveckling av NETRA

*Development of a wood trade and flow planning
decision support system*

Björn Edlund

Examensarbete i Skogshushållning vid institutionen för skoglig resurshushållning, 30 hp
EX0707, A2E

Handledare: Dag Fjeld, SLU, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Extern handledare:

Examinator: Ljusk Ola Eriksson, SLU, institutionen för skoglig resurshushållning, planering

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skoglig resurshushållning
Utgivningsort: Umeå
Utgivningsår: 2014

ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR-425-SE

Förord

Följande studie är utförd som ett examensarbete i Jägmästarprogrammet vid SLU i Umeå. Studien är utförd på uppdrag av Norra Skogsägarna i syfte att vidareutveckla ett beslutsstöd för virkeshandel och flödesplanering.

Jag vill tacka min handledare på SLU, Dag Fjeld för god handledning samt Patrik Jonsson på Norra Skogsägarna som bistått med värdefulla synpunkter och råd. Jag vill också tacka Allan Isaksson och Anette Lindberg på Norra Skogsägarna som ofta med kort varsel hjälpt mig ta fram och tolka all för denna studie nödvändig data.

Björn Edlund

Sammanfattning

Vid flödesplaneringen för en organisation som arbetar med virkesförsörjning måste hänsyn tas till tillgången på råvara, anförskaffningspris, transportsystem, transportavtal, leveransavtal med mera. All denna information och en mängd andra parametrar ska användas för att bestämma det optimala flödet, oavsett om det handlar om timmer, massaved eller biobränsle. Att hitta den bästa lösningen på detta problem med krav på högsta lönsamhet är mycket svårt utan hjälp av ett beslutsstöd. Fokus för detta examensarbete är Norra Skogsägarnas behov av att uppdatera och vidareutveckla ett sådant beslutsstöd. Norra Skogsägarna är således värd företag och analysen har genomförts på deras verksamhet. Studiens syfte är uppdelat i två delar. Studiens första del syftar till att vidareutveckla och validera NETRA, ett beslutsstöd för virkesaffär med hänsyn till optimal destinerings av timmer och massaved. Studiens andra del syftar till att med utgångspunkt i det utvecklade beslutsstödet kvantifiera teoretisk förbättringspotential för optimal destinerings. Förbättringspotentialen har kvantifierats för sortimenten barr- och lövmassaved med hänsyn till järnväg samt den kvarvarande förbättringspotentialen för barr-, löv-massaved, gran- och talltimmersflöden på lastbil. Den teoretiska förbättringspotentialen för optimalt flöde av lastbilstransport var för barrmassaveden tvåveckorsoptimeringen 1,8 %. Den optimala volymen på järnväg var 12,6 % och tillgången till järnväg resulterade i en ökning av det totala ekonomiska nettot med ytterligare 1,2 % för barrmassaveden.

Summary

In wood flow planning an organization that works with wood supply must take into account the supply of raw material, purchase price, transportation and agreements, demand. All of this information and a variety of other parameters are to be used to determine the optimal wood flow, regardless of whether it is timber, pulpwood or biofuel. Finding the best solution to this problem with demands for highest profitability is very difficult without the help of a decision support system. The focus of this thesis was Norra Skogsägarna's need to update and further develop such a decision support system. Norra skogsägarna was therefore hosting company and the analysis was done on their business. The aim of the study where divided into two parts. The study's first part aimed to develop and validate NETRA, a decision support system for timber business with respect to optimal destination of timber, pulpwood. The study's second part where aimed at of the basis of the developed decision support system quantify the theoretical improvement potential for optimal destination of coniferous and deciduous pulpwood with respect to railroad. And the remaining theoretical improvement potential of pulpwood and timber flows on truck due to optimal destination. The theoretical improvement potential for the total economic net due to optimal destination was for softwood pulpwood, only transportation by truck and a two week optimization period 1.8%. The optimal volume of pulpwood on railroad was 12.6% of total volume and it resulted in an increase of total economic net by 1.2% for the softwood pulpwood.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
	<i>Beslutsstöd Norra Skogsägarna –NETRA</i>	2
	<i>Beslutsstöd Skogforsk – FlowOpt</i>	2
	<i>Exempel på andra beslutsstöd</i>	3
1.2	PROBLEMFÖRMULERING	3
	<i>Syfte</i>	3
2	MATERIAL OCH METOD	4
2.1	UTVECKLING AV NETRA	4
	<i>Målfunktion</i>	5
	<i>Lösningsmetodik</i>	7
	<i>Programmeringsmiljö</i>	8
	<i>Utvecklingen i relation till tidigare versioner av NETRA</i>	8
	<i>Validering av beslutsstödet</i>	9
2.2	ANALYS AV FÖRBÄTTRINGSPOTENTIAL	9
	<i>Planeringshorisont</i>	9
	<i>Scenarioanalys</i>	9
3	RESULTAT	11
3.1	BESLUTSSTÖDET NETRA	11
	<i>Huvudmeny</i>	11
	<i>Indataflikar</i>	11
	<i>Grafisk visualisering</i>	12
	<i>Resultatflik</i>	14
	<i>Validera</i>	14
3.2	FÖRBÄTTRINGSPOTENTIAL	15
	<i>Planeringshorisont på sex månader</i>	16
	<i>Planeringshorisont på två veckor</i>	21
	<i>Täckningsbidrag och medeltransportavstånd</i>	25

4	DISKUSSION.....	26
4.1	REFLEKTIONER ÖVER MODELLENS UTFORMANDE.....	26
	<i>Val av aggregering.....</i>	26
	<i>Optimering med hänsyn till järnväg.....</i>	27
	<i>Beslutsstödet's gränssnitt.....</i>	27
	<i>Validering.....</i>	27
4.2	ANALYS AV FÖRBÄTTRINGSPOTENTIAL.....	28
	<i>Förändring av ekonomiskt netto.....</i>	29
	<i>Förändringen i virkesflöde.....</i>	30
	<i>Förändring av transportarbete.....</i>	31
	<i>Täckningsbidrag och medeltransportkostnad.....</i>	32
4.3	VIDARE STUDIER.....	32
4.4	SLUTSATSER.....	33
	KÄLLOR.....	34

1 Inledning

Skogsnäringen är en transporttunga sektor och skogs- och skogsindustriprodukter står för 25 % av all landtransport i Sverige (Skogsstatistisk årsbok, 2010). Transportkostnaden är en stor del i den totala kostnadsmassan för skogsråvara och utgör cirka 25 % av kostnaden fritt industri för rundvirke (Löfroth, 2005) och upp till 50 % av kostnaden för biobränsle (Rentizelas, 2009). Den viktigaste förklarande faktorn för transportkostnad är avståndet där en ökning av transportavståndet med 10 % ger en ökning av kostnaden med ca 7 % för lastbil (Lindwall, 2003). Den kraftiga prisutvecklingen på lastbil i relation till tåg har lett till att järnvägstransport av rundvirke har blivit allt mer attraktivt. År 2003 transporterades 5,4 miljoner ton rundvirke på järnväg och 2007 hade denna siffra ökat med 40 % till 7,6 miljoner ton (Skogsstatistisk årsbok, 2010).

Vid flödesplaneringen för en organisation som arbetar med virkesförsörjning måste hänsyn tas till tillgången på råvara, anförskaffningspris, transportsystem, transportavtal, leveransavtal med mera. All denna information och en mängd andra parametrar ska användas för att bestämma det optimala flödet, oavsett om det handlar om timmer, massaved eller biobränsle. Det optimala flödet är inte statiskt utan vid en förändring, exempelvis vid ett nytt leveransavtal med en kund kommer det optimala virkesflödet att förändras beroende på vilket pris och vilka volymer som kontrakteras. Exempelvis kan en ökad volym till en kund betyda att man måste styra om flödet från andra, vilket i sin tur förändrar transportarbetet och nettot. Samtidigt är kanske en kund med relativt låg betalningsvilja väldigt attraktiv då leveranser dit skulle gå med korta avstånd och trots allt ge ett högt täckningsbidrag. Att hitta den bästa lösningen på detta problem med krav på högsta lönsamhet är mycket svårt utan hjälp av ett beslutsstöd.

Fokus för detta examensarbete är Norra Skogsägarnas behov av att uppdatera och vidareutveckla ett sådant beslutsstöd som har använts i organisationen under ett antal år, och som initialt utvecklades inom ramen för två andra examensarbeten (Örtendahl, 2001; Mellqvist, 2004). Norra Skogsägarna är således värd företag och analysen kommer att göras på deras verksamhet.

Norra Skogsägarna är en av fyra skogsägarföreningar som finns i Sverige. De övriga tre är Skogsägarna Norrskog, Skogsägarna Mellanskog och Södra Skogsägarna. Norra Skogsägarna är geografiskt uppdelade i åtta virkesområden och 44 skogsbruksområden (SBO). De är verksamma i Norrbotten, Västerbotten och delar av Västernorrland. Norra Skogsägarna är en ekonomisk förening med privata skogsägare som verkar för att på lång och kort sikt nå högsta medlemsnyttan genom att bedriva handel med skogsråvara och att verka för en tryggad avsättning av medlemmarnas skogsprodukter till ett tillfredställande pris (Norra Skogsägarna, 2011b).

1.1 Bakgrund

Som bakgrund till föreliggande arbete presenteras här en beskrivning av det tidigare utarbetade beslutsstödet hos Norra Skogsägarna och andra etablerade former av beslutsstöd samt forskning av relevans för studien.

Beslutsstöd Norra Skogsägarna – NETRA

Optimeringsmodellen NETRA togs fram i ett examensarbete av Örtendahl (2001) och är en modell utvecklad i Excel som destinerar massavedsflöden på lastbil från Norra Skogsägarnas skogsbruksområden till mottagande industrier. Medeltransportavståndet från varje område skattas som medelvärdet av avståndet från varje viapunkt i området till respektive mottagande industrier. Transportproblemet ställdes upp som ett linjärt problem med maximering av ekonomiskt netto med hänsyn till transportavtal, pris mot skogsägare, pris mot industri, tillgång och efterfrågan. Genom optimal destineringsplanering fann Örtendahl en teoretisk potential att öka vinsten med i medeltal 2,2 % för det totala barmassavedsflödet och för en planeringshorisont på två veckor. Transportarbetet minskade för barmassaveden med 6,9 % vid scenario med pris fritt industri (Örtendahl, 2001).

2004 vidareutvecklades NETRA genom ytterligare ett examensarbete för att kunna hantera sortimenten gran- och talltimmer. (Mellqvist, 2004). Norra Skogsägarna hade även vid den här tiden fått ett större geografiskt verksamhetsområde och antalet källor och mottagare uppdaterades. Mellqvist tog även fram en metod för optimering med hänsyn till potentiella returtransporter. Den teoretiska potentialen för optimal destineringsplanering gav en ökad vinst med 0,03% i medeltal för sortimentet FFG och 2,3 % i medeltal för barmassaveden. Förbättringspotentialen var 1,3 % i medeltal för grantimmer och 2,9 % i medeltal för talltimmer. För destineringsplanering med hänsyn till retur uppgick den potentiella ökningen av vinsten till 4,5 % i medeltal för samtliga sortiment. Även Mellqvist (2004) använde en planeringshorisont på två veckor (Mellqvist, 2004). Viktigt att notera är att dessa tidigare versioner av NETRA endast tar hänsyn till en tidsperiod.

Beslutsstöd Skogforsk – FlowOpt

Den för skogsindustrin gemensamma organisationen Skogforsk har tillsammans med Linköpings Universitet tagit fram ett beslutsstöd för optimal flödesplanering av virke, FlowOpt. Programmet används på Skogforsk i uppdrag att analysera flöden hos olika uppdragsgivare. Programmet optimerar virkesflödet med en tidsperiod (Frisk, 2005). FlowOpt använder sig av linjärprogrammering och syftar till att minimera den totala transportkostnaden. FlowOpt kan användas för att destinerar virke, finna returflöden, utvärdera transportsystem, finna potential för virkesbyten med mera. FlowOpt kan även beräkna turer för att ta hänsyn till potentialen för returflöden (Frisk, 2005). I projektet Transportsamordning Nord ett gemensamt projekt som Skogforsk utförde tillsammans med Assi Domän, Holmen, Norra Skogsägarna, Norrbottens läns skogsägare, SCA och Scanninge studerades potentialen för samordning av transporter på en taktisk planeringsnivå. Studien använde sig av en planeringshorisont på två veckor och gav en potentiell kostnadsbesparing på 5,1 % med hänsyn till returflöden. (Forsberg, 2003). Med hjälp av FlowOpt studerade Carlsson & Rönnqvist (1998) fyra case på tre olika organisationer; Assi Domän, Sydved och Skogsägarna Mellanskog. Studien baserades på en veckas planeringshorisont och gav en potentiell kostnadsbesparing på 0,4-2,9 % vid optimal flödesplanering utan hänsyn till returflöden och 5,1-6,8 % med hänsyn till returtransport. Holmgren (1999) studerade i sitt examensarbete besparingspotentialen för optimal flödesplanering på Modo Skogs verksamhet i Örnsköldsvik och Lycksele distrikt. I arbetet har beslutsstödet FlowOpt använts och studien gav en potentiell transportkostnadsbesparing på 3,4 % för optimal flödesplanering med hänsyn till returtransport under en planeringshorisont på två veckor. Lindwall (2003) använt sig också av FlowOpt i sitt examensarbete studerades Assi Domäns potentiella kostnadsbesparing av optimal flödesplanering. Planeringshorisonten var en vecka och besparingspotentialen var 2 % utan hänsyn till returflöden. Adrup (2004) analyserade påver-

kan på den optimala flödesplaneringen vid införandet av järnväg för Sveaskog. Även Adrup har använt sig av FlowOpt i sitt examensarbete och fann vid optimering utan hänsyn till returflöden en minskning av kostnaden med 6,7 % vid införandet av järnväg.

Exempel på andra beslutsstöd

Bergdahl (2002) tog fram ett beslutsstöd för flödesplanering i Excel som flödesplanerar utan hänsyn till returtransport och syftar till att minimera transportkostnaden. Analysen gjordes på Holmen Skog och på en planeringshorisont på två veckor fanns en potentiell kostnadsbesparing på 5,3 %. Utöver dessa finns en mängd andra beslutsstöd för flödesplanering. Exempel på två av dessa är EPO i Finland som flödes och ruttplanerar virkestransporter samt ASICAM i Chile som endast ruttplanerar virkestransport (Epstein et al, 1999; Linnainmaa Et al. 1995).

1.2 Problemformulering

Vid planeringen av virkesflödet eller vid en affärsförhandling måste hänsyn tas till en mängd olika parametrar beträffande intäkter och kostnader vilka varierar med geografi och mottagare. Genom att styra flödet för att maximera det ekonomiska nettot med hänsyn till alla dessa parametrar finns en potentiell ekonomisk vinst att göra. En sådan analys är som tidigare beskrivits genomförd hos värd företaget på både massaved och på timmer men ej med hänsyn till eventuell järnvägstransport. Problemet med att använda det befintliga beslutsstödet FlowOpt som optimerar flöden både på lastbil och på järnväg är att en analys av flödet är relativt tidskrävande. Beslutsstödet är i sin utformning lågfrekvent, i den mening att FlowOpt används för ett färre antal djupare analyser över tid. Det är därmed svårt att använda beslutsstödet skarpt i en förhandlingssituation. Vidare optimerar FlowOpt för att minimera kostnaden. För en organisation som Norra Skogsägarna som köper allt sitt virke och säljer en stor del av det externt är det viktigt att ta hänsyn till att virkets värde varierar över geografien. Det är därmed viktigt att optimera för att maximera det ekonomiska nettot. Det befintliga beslutsstödet NETRA är enkelt att använda, är tillräckligt snabbt för att användas praktiskt i förhandling och optimerar för att maximera nettot men hanterar endast lastbilstransport av rundvirke. NETRA kan ej heller användas på hela Norra Skogsägarnas nuvarande verksamhetsområde. NETRA exkluderar därmed såväl tillgångsnoder som mottagande industrier som tillkommit sedan beslutsstödet utformades. Tidigare versioner av NETRA är dessutom strukturerad efter Norra Skogsägarnas gamla organisationsstruktur. Därför finns det ett behov av ett uppdaterat beslutsstöd som maximerar nettot på ett större geografiskt område, tar hänsyn till järnvägstransporter och Norra Skogsägarnas nya organisationsstruktur.

Syfte

Med utgångspunkt i denna problemformulering är studien uppdelad i två delar.

Studiens första del syftar till att vidareutveckla och validera NETRA, ett beslutsstöd för virkesaffär med hänsyn till optimal destinerings av timmer och massaved.

Studiens andra del syftar till att med utgångspunkt i det utvecklade beslutsstödet kvantifiera teoretisk förbättringspotential för optimal destineringspotential. Förbättringspotentialen ska kvantifieras för sortimenten barr- och lövmassaved med hänsyn till järnväg samt den kvarvarande förbättringspotentialen för barr-, löv-massaved samt gran- och talltimmersflöden på lastbil.

2 Material och Metod

Studien är således uppdelad i två delar, utvecklingen och validering av beslutsstödet NETRA samt kvantifiering av förbättringspotential. I avsnittet *Utveckling av NETRA* kommer val av målfunktion, upplösning på analys, val av programmeringsmiljö och skillnader i jämförelse med tidigare versioner av NETRA att avhandlas. Avsnittet *Kvantifiering av förbättringspotential* kommer att avhandla validering av beslutsstödet och analys av förbättringspotential genom scenarioanalys. Modellen är utvecklat för att hantera fyra sortiment; barr- och lövmassaved, gran- och talltimmer samt GROT-flis. Optimeringen sker separat för varje sortiment utan hänsyn till övriga och modellen inkluderar transporten från att virket nått bilväg till det kommer till industri. Detta gäller även GROT-flis då priset till markägaren är priset flisat vid bilväg. Därför tar modellen ingen hänsyn till sönderdelning av flisen utan optimerar flödet av flisad GROT.

2.1 Utveckling av NETRA

Destinering, eller det klassiska transportproblemet som det kan kallas, är att ta fram den optimala lösningen på transporten av gods eller tjänster från ett flertal källor till ett flertal mottagare. Avståndet beräknas som en enkel tur från källa till mottagare för flödet utan hänsyn till begränsningar för det enskilda fordonet. Målet är att minimera den totala transportkostnaden och problemet löses matematiskt med linjär programmering (Dykstra, 1984).

Det klassiska transportproblemet löses enligt följande matematiska formel (Dykstra, 1984):

$$\text{Min} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X_{ij} C_{ij}$$

$$\sum_{j=1}^J X_{ij} = S_i, \quad i = 1, \dots, I$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ij} = D_j, \quad j = 1, \dots, J$$

$$X_{ij} \geq 0, \quad \forall i, j.$$

X_{ij} = Leverans av volymen X från tillgångsnod i till efterfrågenod j

C_{ij} = Transportkostnad från tillgångsnod i till efterfrågenod j

S_i = Tillgång vid tillgångsnod i

D_j = Efterfrågan vid efterfrågenod j

Målfunktion

Nedan återfinns den målfunktion som bildar basen för utformandet av beslutsstödet. Målfunktionen utgår till stor del från det klassiska transportproblemet (Dykstra, 1984) men har också bearbetats ytterligare för att passa till den aktuella tillämpningen. Problemet i detta arbete är därmed en variant av det klassiska transportproblemet men där målet är att maximera det ekonomiska nettot. Så för att lösa ut transportproblemet maximeras det ekonomiska nettot per sortiment med hänsyn till kostnader för inköp och transport, intäkt från mottagare och med restriktion på tillgång och efterfrågan.

Målfunktion

$$\text{Max} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X_{ij}^A (U_j - C_{ij} - P_i) + \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T E * X_{tj}^B (U_j - C_{tj}) - \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J E * X_{it}^C (C_{it} + P_i)$$

Index:

$i = 1 \dots I$	Källa
$j = 1 \dots J$	Mottagare
$t = 1 \dots T$	Terminal

Beslutsvariabler

X_{ij}^A	Volym X från källa i till mottagare j
X_{tj}^B	Volym X från terminal t till mottagare j
X_{it}^C	Volym X från källa i till terminal t
E	Binär. Definieras av användaren, 1 om järnväg är tillgänglig annars 0

Parametrar

S_i	Tillgång vid källa i
D_j^{\min}	Efterfrågan, minimum vid mottagare j
D_j^{\max}	Efterfrågan, maximum vid mottagare j
U_j	Intäkt per enhet X vid mottagare j
C_{ij}	Transportkostnad per enhet X från källa i till mottagare j
C_{it}	Transportkostnad per enhet X från källa i till terminal t
C_{tj}	Transportkostnad per enhet X från terminal t till mottagare j
P_i	Inköpskostnad per enhet X vid källa i

Bivillkor

$$\sum_{j=1}^J X_{ij}^A + \sum_{t=1}^T X_{it}^C \leq S_i, \quad i = 1, \dots, I \quad (1)$$

Summan av volymen X från källa i får inte överstiga tillgången vid källa i

$$\sum_{i=1}^I X_{ij}^A + \sum_{t=1}^T X_{tj}^B \geq D_j^{\min}, \quad j = 1, \dots, J \quad (2)$$

Summan av volymen X levererad till mottagare j måste överstiga minsta leveransvolym D_{\min}

$$\sum_{i=1}^I X_{ij}^A + \sum_{t=1}^T X_{tj}^B \leq D_j^{\max}, \quad j = 1, \dots, J \quad (3)$$

Summan av volymen X levererad till mottagare j får inte överstiga maximala leveransvolym D_{\max}

$$\sum_{i=1}^I X_{it}^C = \sum_{j=1}^J X_{tj}^B, \quad t = 1, \dots, T \quad (4)$$

Summan av volym X in till terminal t måste vara lika med summan av volym X ut från terminal t

$$X^A, X^B, X^C \geq 0 \quad (5)$$

Volym X måste vara större än eller lika med noll.

Lösningssmetodik

Första steget i att lösa ett linjärt transportproblem som detta är att ta fram och ställa upp all nödvändig indata. Till att börja med definiera tillgångs- och efterfrågenoder, ta fram tillgången och efterfrågan vid varje nod samt beräkna nettot av transport av virket mellan dessa

Tillgångs- och efterfrågenod

Den mest sanna optimeringen skulle ske med analys på alla enskilda avlägg. Detta är dock inte möjligt då analysen skulle bli alltför krävande med tiotusentals avlägg och ett enormt antal olika teoretiskt möjliga kombinationer av transporter. Därför måste volymerna aggregeras till större enheter. Storleken på dessa enheter och därmed antalet tillgångsnoder blir en avvägning mellan en snabbare, grövre analys med få stora enheter och en långsammare mer noggrann optimering med många små enheter. En viktig del i valet av upplösning är hur modellen skall användas. NETRA är ett beslutstöd för virkesaffärer och det ställer därmed höga krav på tidsåtgången för datahantering och optimering. För att minska den tid som krävs att ta fram nödvändig indata inför varje optimeringen, använder modellen Norra Skogsägarnas minsta administrativa geografiska enhet, skogsbruksområde (SBO), som aggregeringsnivå. Tillgångsnoden i denna analys är därmed definierat som SBO och efterfrågenoderna är alla mottagande industrier för sortimentet i anslutning till Norra Skogsägarnas verksamhetsområde. I denna studie är både tillgång och efterfrågan satt efter faktiskt levererade volymer från respektive område till mottagande industri.

Nettoberäkning

Nettot beräknas per m³fub för varje potentiellt flöde med utgångspunkt i inköpskostnad, transportkostnaden och försäljningspris hos mottagande industri. Inköpskostnaden är priset som betalas för virket vid bilväg och tas ur aktuell prislista för området minus ett transportavdrag till närmaste industri. Transportavdraget är ett avdrag från det pris som är anggett i prislistan för att kunna använda mer generella prislistor över stora geografiska områden och ändå kunna ta hänsyn till avståndet till industrin. Försäljningspriset är aktuellt pris som betalas fritt industri av varje mottagare. Transportkostnaden beräknas för varje flöde utifrån det skattade transportavståndet och kostnaden per m³fub och km tas ur det avtal som finns med den transportör som är verksam vid flödets källa.

För att beräkna transportkostnaden måste medeltransportavståndet från varje källa till varje mottagare bestämmas. Historiskt medeltransportavstånd från varje SBO kan inte användas för att ta fram avståndsmatrisen då transportavståndet endast finns tillgängligt för en bråkdel av alla flöden som behövs i optimeringen och i vissa fall består detta medelvärde endast av någon enstaka leverans. För att beräkna avståndet från varje aggregat, i detta fall skogsbruksområde behövs en startpunkt. Denna punkt kan definieras som den geografiska mittpunkten för respektive SBO. Den är enkel att ange men förutsätter att verksamheten är jämnt fördelad i området. Detta är något som ofta inte är fallet, exempelvis i fjällnära eller områden med delar som har låg andel privata skogsägare. Därför togs en medelkoordinat fram ur historisk data från tidigare leveranser. Denna medelkoordinat är medelpunkten för alla avverkningar de tre senaste åren inom respektive SBO. Avståndet mellan varje medelpunkt, eller tillgångsnod till alla efterfrågenoder beräknades med tjänsten Krönt Vägval. Krönt Vägval är en tjänst framtagen av SDC tillsammans med Skogforsk för att beräkna det billigaste avståndet från ett avlägg till mottagande industri. Krönt Vägval är uppbyggd kring Skoglig Nationell Vägdatabas (SNVDB) och utifrån vägens bärighetsklass, funktionell vägklass och en mängd andra attribut bestäms en vägs motstånd. Hela vägnätet är upp-

delat i länkar förbundna med noder. En nod kan vara en förgrening, slutpunkt eller förändring i motståndet. Varje länk har en motståndparameter som multipliceras med länkens längd. Därmed uppkommer en kostnad för att passera en länk och utifrån detta beräknas rutten med mål att minimera den totala kostnaden från start- till slutnod (Flisberg et al. 2009).

Programmeringsmiljö

För att skapa ett beslutsstöd finns en mängd olika programmeringsmiljöer att välja mellan. Excel är inte det enda eller det snabbaste kalkylprogrammet som kan använda optimeringsmotorer men då Excel används dagligen för enklare matematiska analyser på Norra Skogsägarna är det ett program lämpar det sig väl som utvecklingsmiljö för detta beslutsstöd. Beslutsstödet är då utvecklat i en miljö som användaren redan är bekant med och blir lätt att sprida till de olika användare som behöver programmet. I Excel finns en inbyggd funktion för att lösa optimeringsproblem som kan lösa både linjära och icke linjära problem men standard licensen är begränsad till 200 variabla celler vilket gör att den inte går att använda i detta arbete. Det finns tilläggfunktioner att installera i Excel som möjliggör mer omfattande beräkningsmöjligheter. OpenSolver är ett av dessa som är framtaget av Andrew Mason med studenter på University of Auckland (OpenSolver, 2013). Tillägget är av typen öppen källkod och är skrivet i Visual Basic. Det finns tillgängligt för alla ladda ned och använda under en så kallad GPL licens (General Public License). Detta betyder att all källkod tillgänglig och att användare har rätt att använda, förbättra, anpassa och distribuera programmet. OpenSolver använder sig av CBC:s (COIN-OR Branch and Cut) problemlösare med branch and cut som optimeringsalgoritm. OpenSolver kan därmed lösa stora linjära och heltalsproblem. Tillägget är tidigare använt i utvecklingen av beslutsstöd (Perry, 2012; Aeschbacher, 2012).

Utvecklingen i relation till tidigare versioner av NETRA

Tidigare versioner av NETRA uppfyller sitt syfte men har vissa svagheter, därav behovet av en ny vidareutvecklad version. Denna version av NETRA har byggts upp fristående från tidigare versioner men bygger på samma grundprinciper. Den har en ökad funktionalitet och ett mer utvecklat användargränssnitt.

En av svagheterna med tidigare versioner av NETRA är att både källor och mottagare inte är uppdaterade till dagens verksamhet. Dessa har därför reviderats då industrier har lagt ner och nya tillkommit samt att Norra skogsägarna har expanderat till ett större geografiskt område som måste inkluderas i modellen. Metoden för att skatta transportavståndet har reviderats för att öka kvaliteten på resultatet genom att istället för att räkna på via punkter beräkna avståndet med Krönt Vägval och historiska medelkoordinater. Vidare tog inte tidigare versioner av NETRA någon hänsyn till möjlig järnvägstransport, vilket denna version av NETRA gör. Liksom tidigare versioner av NETRA kommer all indata att ske direkt i arbetsbladet vilket ökar valmöjligheterna i arbetssätt för användaren. Exempelvis kan celler i Excel kopplas till andra Exceldokument. Detta är något som inte är möjligt om indata sker i färdiga formulär. Optimeringsmotorn som modellen använder idag är OpenSolver istället för PremiumSolver som använts i tidigare versioner av NETRA. Genom att välja en optimeringsmotor av typen öppen källkod finns inget behov att köpa och förnya dyra licenser. Modellen blir då enklare att distribuera och installera på nya datorer. Visualiseringen av resultatet i flödeskartor sker inom Excel istället för att som med tidigare NETRA koppla Excel mot ArcGIS. Detta ökar driftsäkerhet även efter framtida programuppdateringar. Även valet av metod för visualisering har reviderats där tidigare versioner visualiserat re-

sultatet med hjälp av en kartbild där varje område ändrar färg utifrån vilken mottagare som finns för majoriteten av virkesflödet från området. Denna version av NETRA visualiserar istället resultatet i flödespilar för att användaren lättare ska kunna tolka resultatet.

Validering av beslutsstödet

I utvecklingen av NETRA har det varit viktigt att validera beslutsstödet. Valideringen går att dela upp i två delar. Första delen var att validera det beräknade medeltransportavståndet. För att validera det beräknade medeltransportavståndet gjordes en jämförelse mellan skattat och historiska medeltransportavståndet. Data på transport från respektive område samlades för de senaste tre åren. Genom att plotta dessa i en graf kunde flöden med stor skillnad mellan det skattade och det historiska medeltransportavståndet kontrolleras. Den andra delen av valideringen har varit att analysera resultatet av kvantifieringen av förbättringspotential tillsammans med personal på värd företaget som utifrån erfarenhetstal bedömt rimligheten i det föreslagna optimala virkesflödet. I denna del har visualiseringen av virkesflödet varit avgörande för att upptäcka eventuella felaktigheter i modellen. Eventuella flöden som av Norra Skogsägarnas personal anses vara tveksamma har kontrollerats ytterligare genom att med grunddata manuellt beräkna nettot för flödet.

2.2 Analys av förbättringspotential

För att belysa förbättringspotentialen har fyra olika scenarion analyserats under två olika planeringshorisonter.

Planeringshorisont

Optimering har genomförts med två olika planeringshorisonter, en längre och en kortare planeringshorisont. Den kortare kommer att bli de första två veckorna i februari 2012. Denna längd och tid på året har tidigare används av både Örtendahl (2001) och Mellqvist (2004) och möjliggör därmed direkt jämförelse med deras resultat. Den längre planeringshorisonten är de första sex månaderna 2012.

Vid flödesoptimeringen med hänsyn till järnväg fanns sex stycken järnvägsterminaler tillgängliga. Ingen begränsning i flöde över respektive terminal eller linje användes i optimeringen.

Scenarioanalys

Följande scenarion har analyserats i denna studie:

Fast volym - Optimalt flöde med den volym som faktiskt levererades under planeringshorisonten är satt som restriktion i tillgång per källa och i efterfrågan per mottagare. Detta kommer i jämförelse med verklig leveransvolym ge att ge en bild av vilken förbättringspotential som finns inom flödesplaneringen.

Fast volym med järnväg - Optimalt flöde med den historiskt levererade volymen under planeringshorisonten som restriktion i tillgång och efterfrågan. Sex stycken järnvägsterminaler öppnar och möjliggör järnvägstransport. Detta scenario ska visa på potentialen för järnvägstransport av rundvirke.

Fast volym med järnväg, höjd tariff - Optimalt flöde med den historiskt levererade volymen under planeringshorisonten som restriktion i tillgång och efterfrågan. Sex stycken järnvägsterminaler öppnar och möjliggör järnvägstransport. Transportkostnaden på lastbil är ökad med 10 % över verklig. Detta scenario syftar till att visa på hur järnvägsvolymer påverkas av en höjning av transportkostnaden på bil.

Fast volym, leveransplan +/- 10 % - Optimalt flöde med den historiskt levererade volymen under planeringshorisonten som restriktion i tillgång och efterfrågan. Modellen tillåts avvika från satt efterfrågan per mottagare med +/- 10 %. Detta scenario syftar till att visa på leveransprecisionens betydelse för den ekonomiska förbättringspotentialen.

Alla scenarion kommer ej att analyseras på alla sortiment och planeringshorisonter. Under sexmånadershorisonten och på massaveds sortimenten kommer följande tre scenarion att analyseras; *Fast volym*, *Fast med järnväg* samt *Fast med järnväg, höjd tariff*. För timmer sortimenten under samma planeringshorisont kommer endast scenariot *Fast volym* att analyseras. För den kortare planeringshorisonten på två veckor kommer de två scenarierna *Fast volym* och *Fast volym, LP +/- 10 %* att analyseras (Tabell 1).

Tabell 1. Analysens olika scenarion, fördelade på tidhorisont och sortiment
Table 1. Scenarios for the analysis divided by planning horizon and assortment

Planeringshorisont	Sortiment	Scenario
Sex månader	Barr- och lövmassaved	Fast volym
		Fast m. järnväg
		Fast m. järnväg höjd tariff
	Tall- och Grantimmer	Fast volym
Två veckor	Barr- och lövmassaved	Fast volym
		Fast volym, LP +/- 10 %
	Tall- och Grantimmer	Fast volym
		Fast volym, LP +/- 10 %

3 Resultat

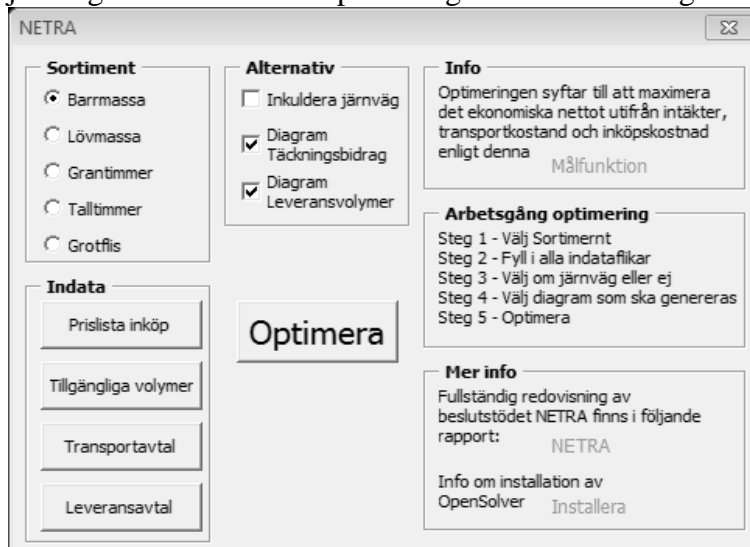
Detta kapitel är uppdelat i två avsnitt, *Beslutsstödet NETRA* och *Förbättringspotential*. I det första avsnittet *Beslutsstödet NETRA* kommer beslutsstödet uppbyggnad att beskrivas, samt hur det kan användas. I det sista avsnittet *Förbättringspotential* kommer Norra Skogsägarnas förbättringspotential av optimal flödesplanering att beskrivas utifrån valda scenarion. Resultatet är uppdelat efter de tidigare beskrivna planeringshorisonterna och presenteras i procentuell förändring av totalt ekonomiskt netto, geografiska flödesförändringar samt förändring av transportarbete.

3.1 Beslutsstödet NETRA

Beslutsstödet NETRA är precis som tidigare versioner utvecklade i Excel. När programmet öppnas visas en startsidan och huvudmenyn öppnas. I denna meny kan användaren via knappar ställa in och genomföra optimeringen. Användaren får också kort information om optimeringen och ges möjlighet att fördjupa sig i teorin bakom beslutsstödet samt installationsinformation via länkar till ytterligare textdokument. Arbetsgången vid optimeringen går kort att dela upp i fem steg. Steg ett är att välja sortiment för optimeringen i huvudmenyn. Steg två är att fylla i eller kontrollera inmatad data i de olika indataflikarna. Steg tre är att välja om järnväg ska inkluderas i modellen eller ej. Steg fyra är att välja vilka diagram som ska genereras vid optimeringen och det sista steget är att klicka på knappen *Optimera*.

Huvudmeny

I menyn kan användaren välja vilket sortiment som ska optimeras. Det finns även länkar till de olika indataflikarna där all nödvändig indata anges. Användaren kan även välja om järnväg ska inkluderas i optimeringen samt vilka diagram som ska genereras.



Figur 1. Huvudmeny i det utvecklade NETRA

Figur 1. Developed NETRA's main menu

Indatatabeller

I de olika indataflikarna finns kort information om vilken data som ska anges samt eventuellt viktiga aspekter att observera i dess påverkan på resultatet. Exempelvis varnas användare att modellen kommer att lämna volymer med långt transportavstånd utan hänsyn till

nästa planeringsperiod om optimering sker vid kraftig obalans i tillgång och efterfrågan. Här finns även länkar till olika dolda grundflikar, exempelvis avståndsmatriser om dessa önskas kontrolleras eller redigeras.

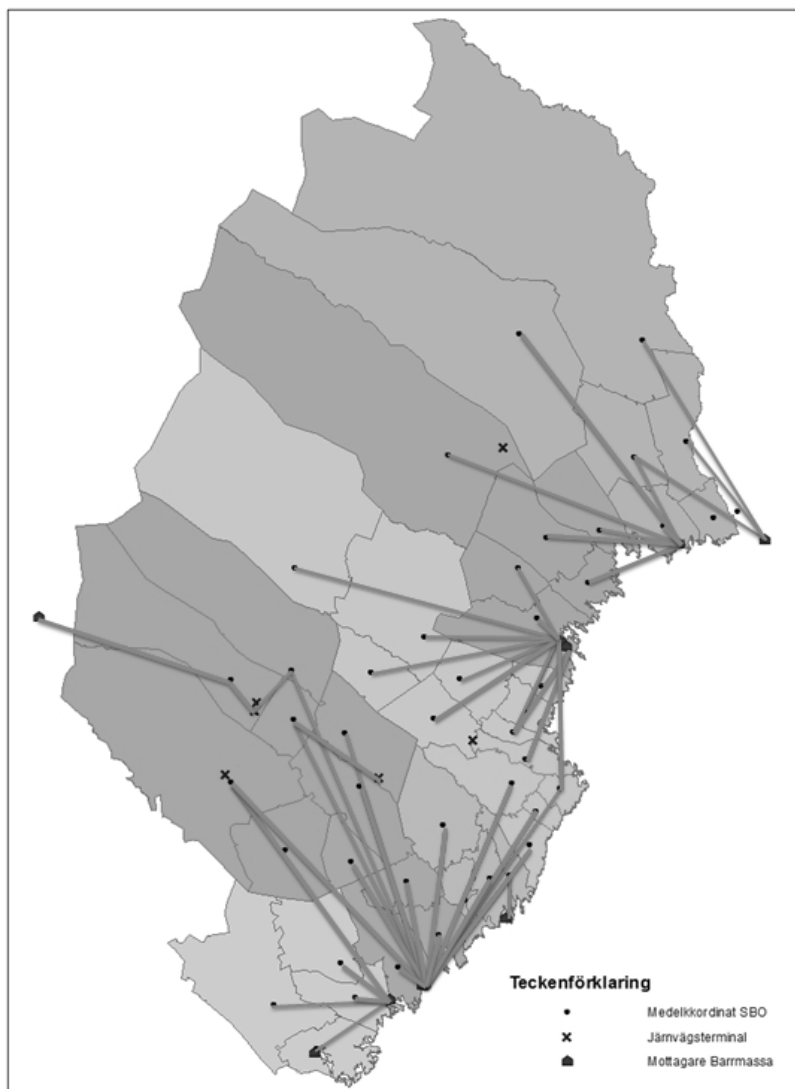
Prislista leverantör		Datum: 2012-02-01		
Prislista	Inköp - barr			
	Grundpris (kr/m ³ fub):	Trp.avdrag (kr/m ³ fub·km):	Max trp.avdrag	Tillägg/Avdrag (kr/m ³ fub)
NB inland	340	0,2	44	
NB kust	340	0,2	44	
VB inland	340	0,2	44	
VB södra	340	0,2	44	
VB norra	340	0,2	44	
Å-manland	340	0,2	44	
Finland				

Figur 2. Exempel på indataflik i NETRA. Användaren fyller i pris och transportavdrag

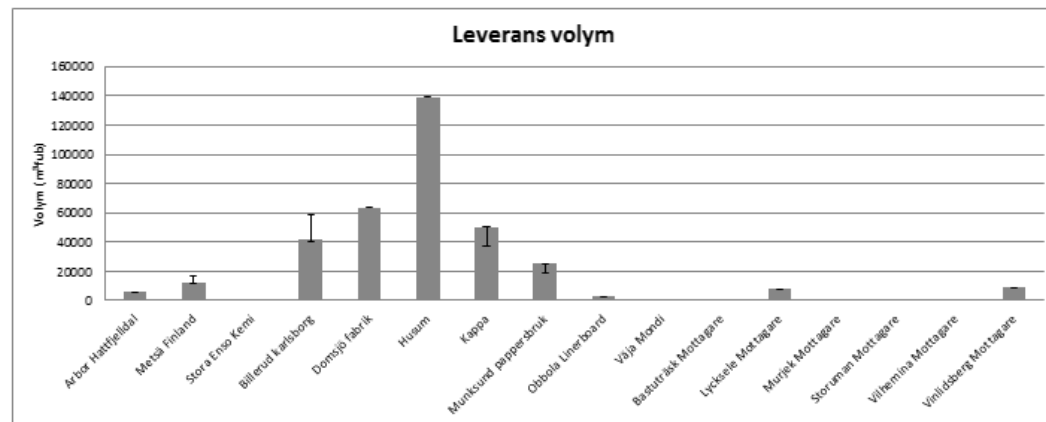
Figure 2. Example of worksheet for data input in NETRA. User enters price and transport deduction

Grafisk visualisering

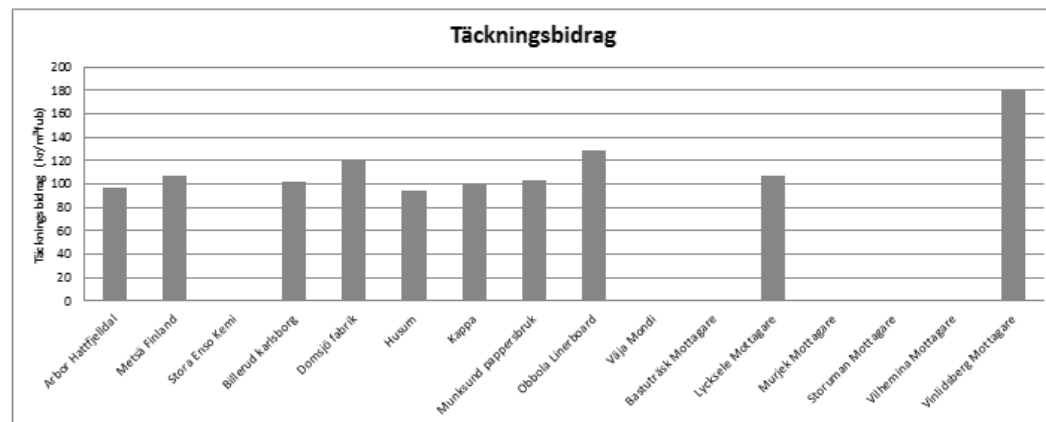
Efter genomförd optimering genereras en flödeskarta samt diagram över leveransvolym och täckningsbidrag. På flödeskartan visas alla flöden från källa till mottagare. Lastbilsflöden representeras av röda heldragna linjer och järnvägsflöden av svarta streckade linjer. Även en distinktion i flödets storlek görs där de minsta flödena får en något tunnare linje än huvudflödena. Om användaren håller muspekaren över en flödeslinje på kartan visas information om källa, mottagare och storlek på flödet i m³fub. I figur tre hur resultatet av optimeringen presenteras för användaren. Utöver flödeskarta kan användaren välja att generera två olika diagram, ett med totalt levererad volym per mottagare, samt ett diagram med skattat volymvägt medeltäckningsbidrag per mottagare. I volymdiagrammet kan användaren välja att med ett knapptryck plotta leveransplanen. Ett eventuellt intervall i leveransplanen visas då i diagrammet som en I-figur där dess nedre gräns motsvara minsta tillåtna leveransvolym och den övre gränsen motsvarar den största tillåtna leveransvolymen för de olika mottagarna.



Resultat Tillbaka Kartor Exportera Karta ? Levplan i vol.diagram AV/PÅ



Total levererad volym (m³fub)	356868 m³fub
Täckningsbidrag (kr/m²fub)	105 kr



Figur 3. Exempel på visualisering av resultatet i NETRA. Efter körning genereras flödeskarta samt diagram för leveransvolym och täckningsbidrag.
Figure 3. Example of visualization of the result given by NETRA. Map over wood flow and graphs over delivered volume and contribution margin.

Resultattabeller

I resultatfliken, det blad som genereras vid optimeringen, finns tabeller för volymen på alla flöden och den minsta samt största tillåtna leveransvolym per mottagare. Här finns även tillgänglig och levererad volym per område samt täckningsbidrag, totalt netto, transportkostnad och skattat medeltransportavstånd för varje flöde samt i medeltal per mottagare och område. Exempel på tabell som genereras visas i figur fyra.

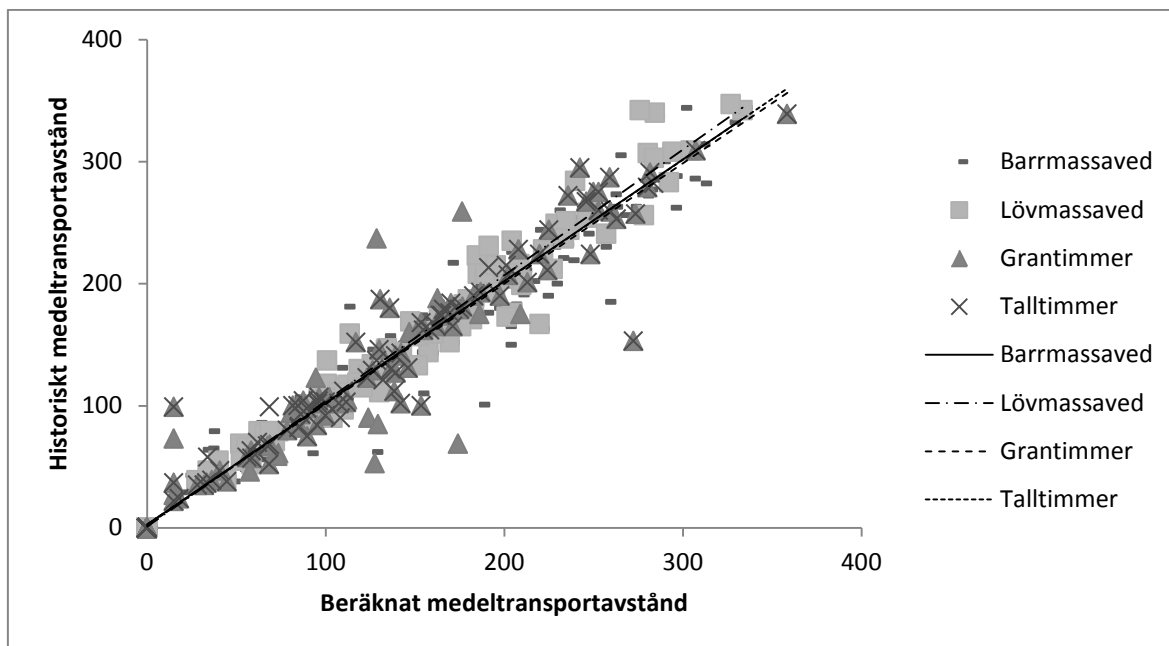
Volymmatris (m ³ fub)									
SBO	Billerud karlsborg	Domsjö fabrik	Husum	Kappa	Munksund pappersbruk	Obbola Linerboard	Väja Mondí	Summa Leverans	Tillgänglig volym
2				727				727	727
5				1638				1638	1638
7				1018				1018	1018
8					5688			5688	5688
10				2531				2531	2531
11				2610				2610	2610
12				11298				11298	11298
14				4247	7562			11809	11809
15					11750			11750	11750
18			8945					8945	8945
20			407	8744				9150	9150
81	3673							3673	3673
91									
Summa leverans	41891	63407	139170	50000	25000	2929	0	356868	359670
Min leverans	40000	63407	139170	37308	18796	2929	0		336081
Max leverans	58340	63407	139170	50000	25000	2929	0		378566

Figur 4. Exempel av tabell genererad i resultatfliken. Tabellen visar optimalt levererade volymer, tillgängliga volymer samt efterfrågan.

Figure 4. Example of table generated in the result worksheet. The table contains optimal volume to deliver, supply and demand.

Validering av beslutsstödet

För att validera det med Krönt Vägval beräknade medeltransportavståndet gjordes en jämförelse mellan beräknat och faktiskt medeltransportavstånd på de sträckor där information om historiskt medeltransportavstånd fanns (fig. 5). Av de 1080 möjliga flödena för talltimmer i modellen finns historisk data på faktiska transporter för endast 94 av dessa. De flöden som tydligt avviker från trendlinjen har kontrollerats för att finna eventuella felaktigheter i modellen.

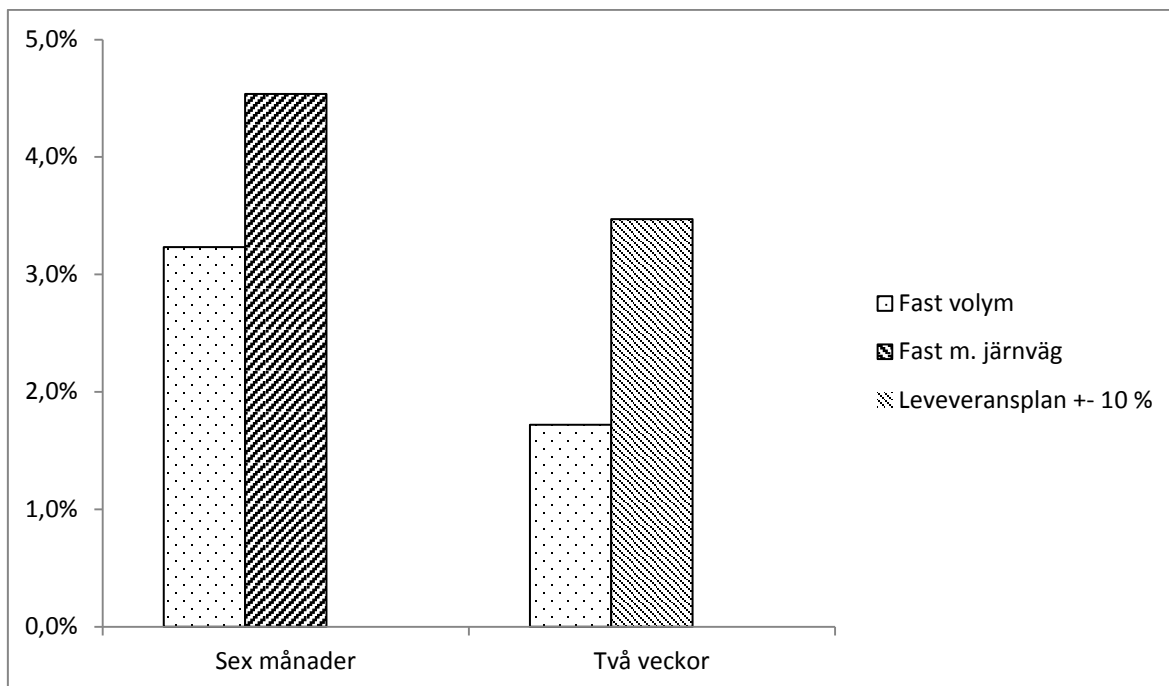


Figur 5. Jämförelse av historiskt medeltransportavstånd med skattat medeltransportavstånd.

Figure 5. Comparison between historical mean transportation distance and estimated mean transportation distance.

3.2 Kvantifiering av teoretisk förbättringspotential

Resultatet av kvantifieringen av förbättringspotentialen är i detta arbete redovisat som förändringen av totalt ekonomiskt netto. Detta i relation till de historiska leveranserna under respektive planeringshorisont. Den potentiella förändringen av virkesflödet är beskriven i flödeskartor samt i förändringen av transportarbetet. Generellt är förbättringspotentialen högre för massaveden än för timmer (se fig. 7 och fig. 12). Förbättringspotentialen är även generellt högre för den längre planeringshorisonten än för den korta (fig. 6). Det optimala flödet av barr- och lövmassaved vid scenario *fast volym* resulterade i ett ökat netto mot det historiska flödet med 1,7 % för tvåveckorsoptimeringen och med 3,2 % för sexmånadersoptimeringen. Motsvarande förändring för gran- och talltimmer var 1,0 % vid tvåveckorsoptimeringen och 1,5 % för sexmånadersoptimeringen. Förbättringspotentialen ökade för samtliga sortiment vid en optimering med sexmånadersplaneringshorisont i relation till optimeringen med en tvåveckorsplaneringshorisont. Denna ökning var för massaveden 1,5 % och för timmer 1,0 %.



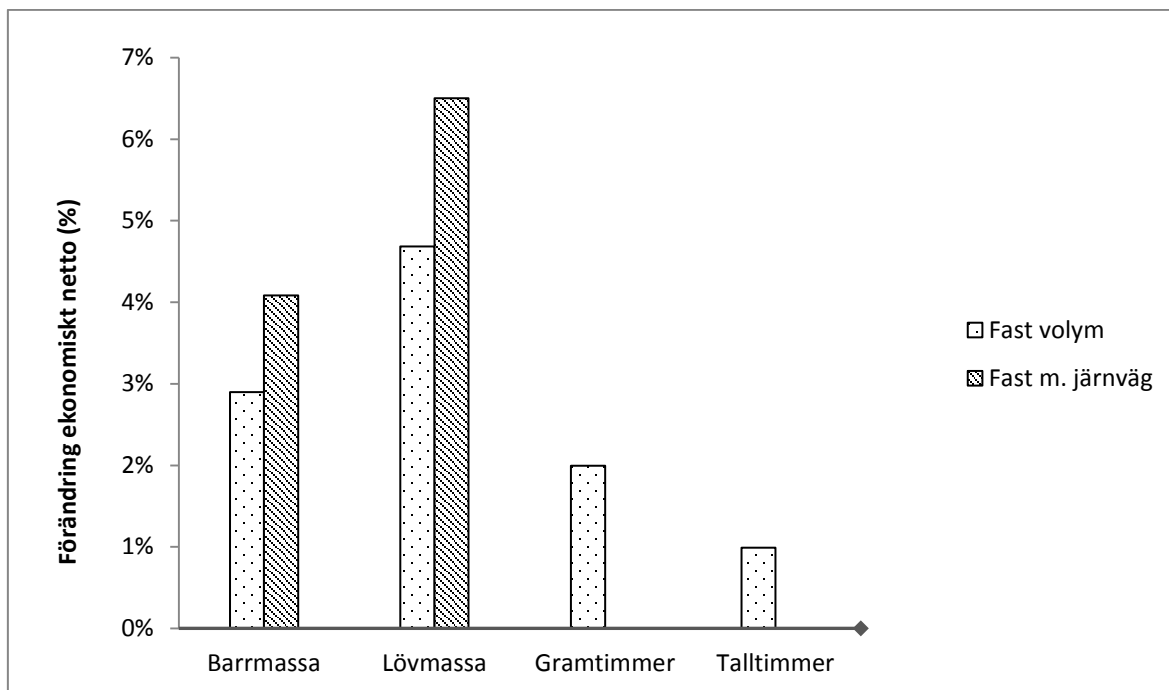
Figur 6. Förbättringspotential i ökning av totalt ekonomiskt netto i relation till historisk leverans. Detta för summan av barr- och lövmassavedsflödet per planeringshorisont och scenario

Figure 6. The relative change in total economic profit for two weeks (två veckor) and six month (sex månader) optimization period, after the different optimization alternatives (Fast volym = Delivery plan, Fast m. järnväg = Delivery plan and access to railroad, Leveransplan +/- 10 % = Delivery plan +/- 10 %)

Planeringshorisont på sex månader

Förändring av ekonomiskt netto

Ökningen av det skattade ekonomiska nettot för scenariot *fastvolym* var störst för massaveden med en ökning på 2,9 % för barrmassaveden och 4,7 % för lövmassaveden. Ökningen var något mindre för timmer med 2,0 % för grantimmer och 1,0 % för talltimmer (fig. 7). Totalt finns en förbättringspotential i optimalt flöde med järnväg mot historiskt flöde på 3,8 % för barrmassaveden, respektive 2,9 % för lövmassaveden. Ökningen av förbättringspotentialen i relation till scenariot *fastvolym* var för barrmassaveden 1,2 % och för lövmassaveden 1,8 % (fig. 7).

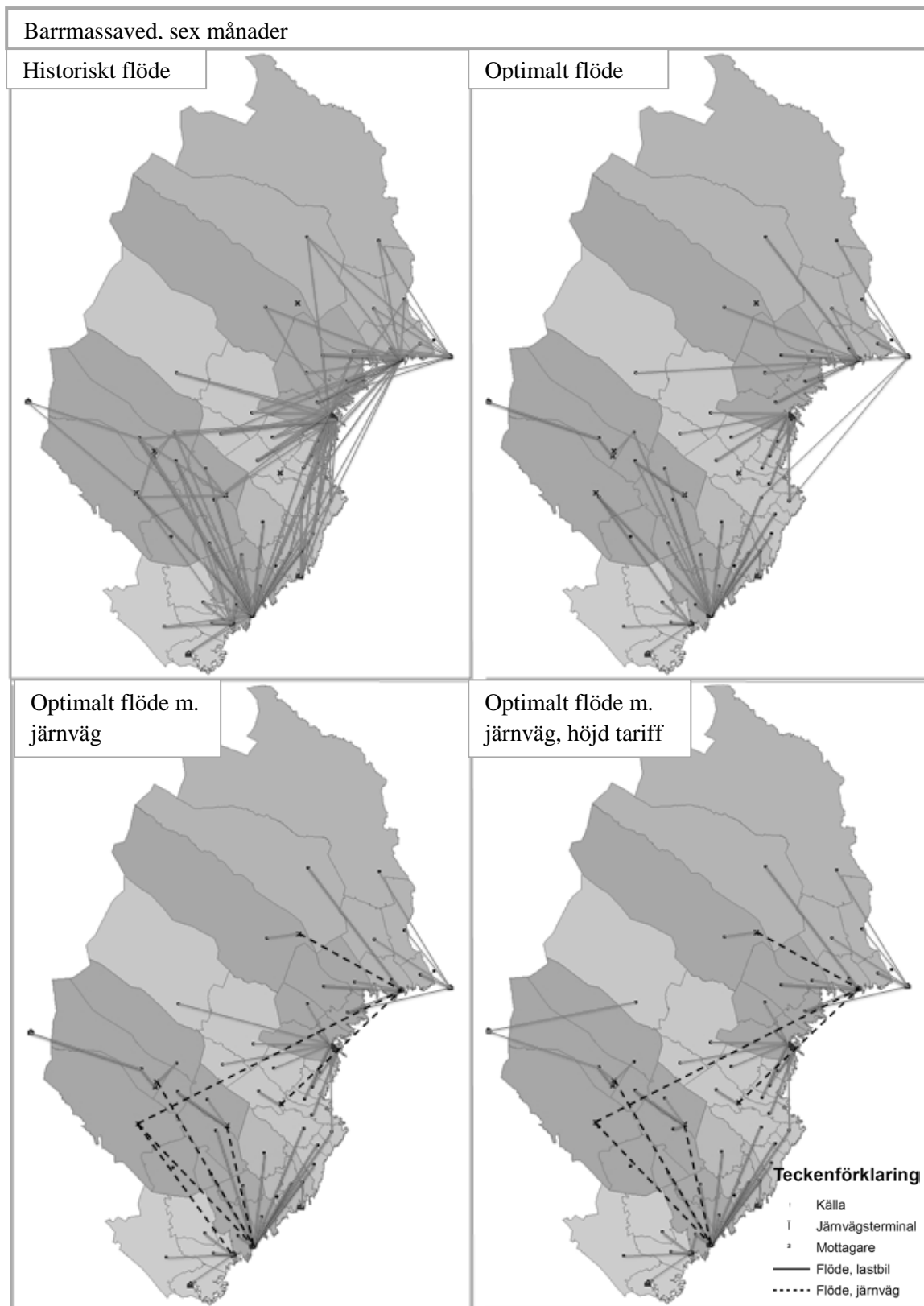


Figur 7. Förbättringspotential i ökning av det totala ekonomiska nettot per sortiment och scenario för planeringshorisonten på sex månader

Figure 7. The relative change in total economic profit for the six month optimization period, after the different optimization alternatives (Fast volym = Delivery plan, Fast m. järnväg = Delivery plan and access to railroad)

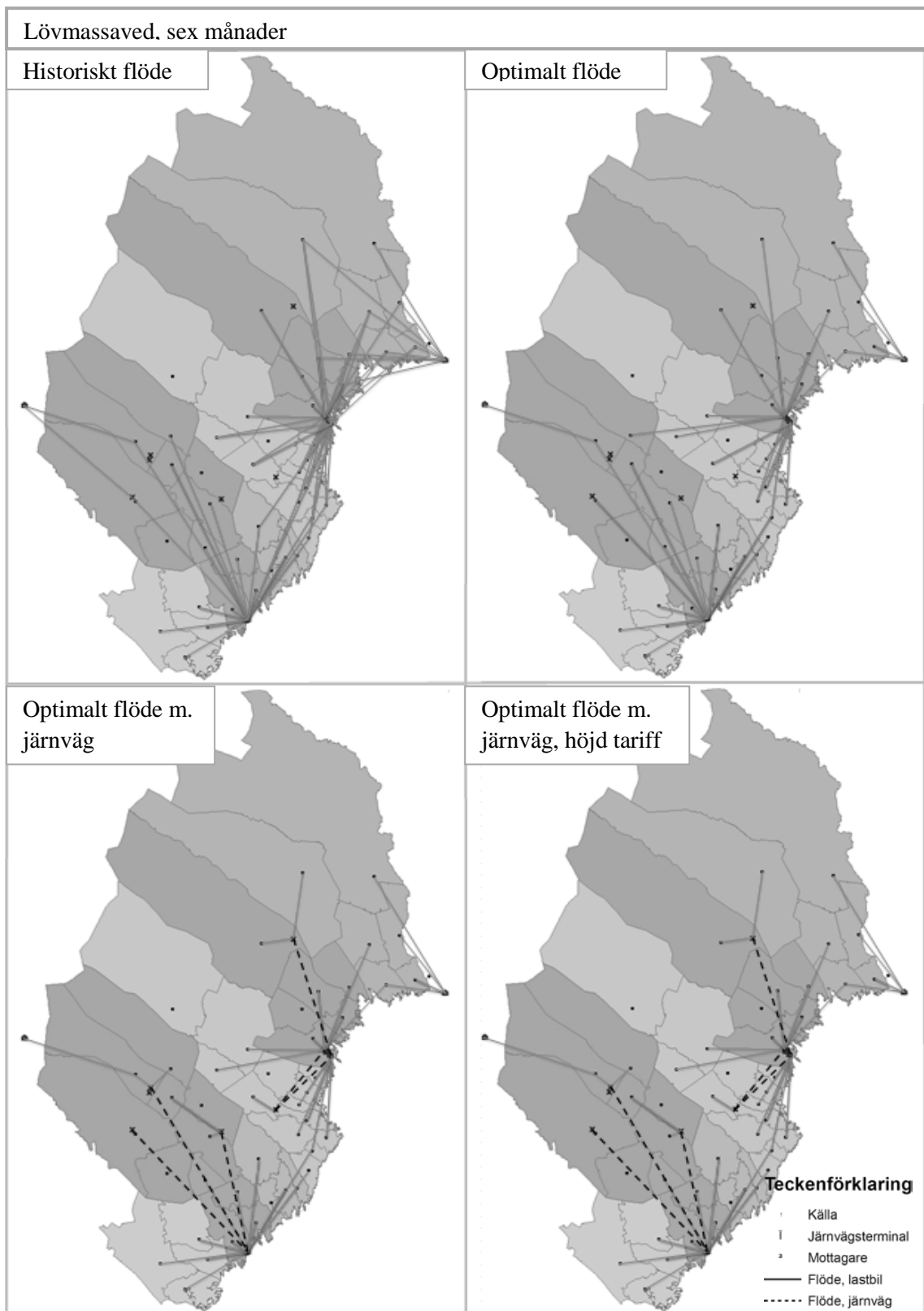
Förändring i virkesflöde

Gemensamt för alla sortiment är att andelen korsflöden minskat kraftigt i och med flödesoptimeringen och därmed minskade även överlappningen i upptagningsområde per industri. Vid införandet av järnväg minskade upptagningsområdet runt den mottagande industrin och istället uppkommer öar av upptagningsområden runt de olika mottagande järnvägsterminalerna. Vid en höjd bränsletariff minskade upptagningsområdet runt industrin ytterligare något och större volymer gick via järnvägsterminalerna (se fig. 8 samt fig. 9). En intressant sak att observera är att det optimala flödet av barrmassaveden ger upptagningsområden som runt sju av de mottagande industrierna var väldigt snedfördelade. Oberoende av kusten ligger industrin i absoluta utkanten av sitt upptagningsområde. Vid införandet av järnväg minskar denna snedvridning något då modellen kan kompensera detta med långa transporter på tåg. Exempelvis uppkom järnvägsflöden från Västerbottens inland till Norrbottens kust (fig. 8).



Figur 8. Flödeskarta för barrmassavedsflödet. Historiskt flöde (ö.v.), fast volym (ö.h.), fast volym med järnväg (n.v.) och fast volym med järnväg och höjd tariff (n.h.) för planeringshorisonten på sex månader.

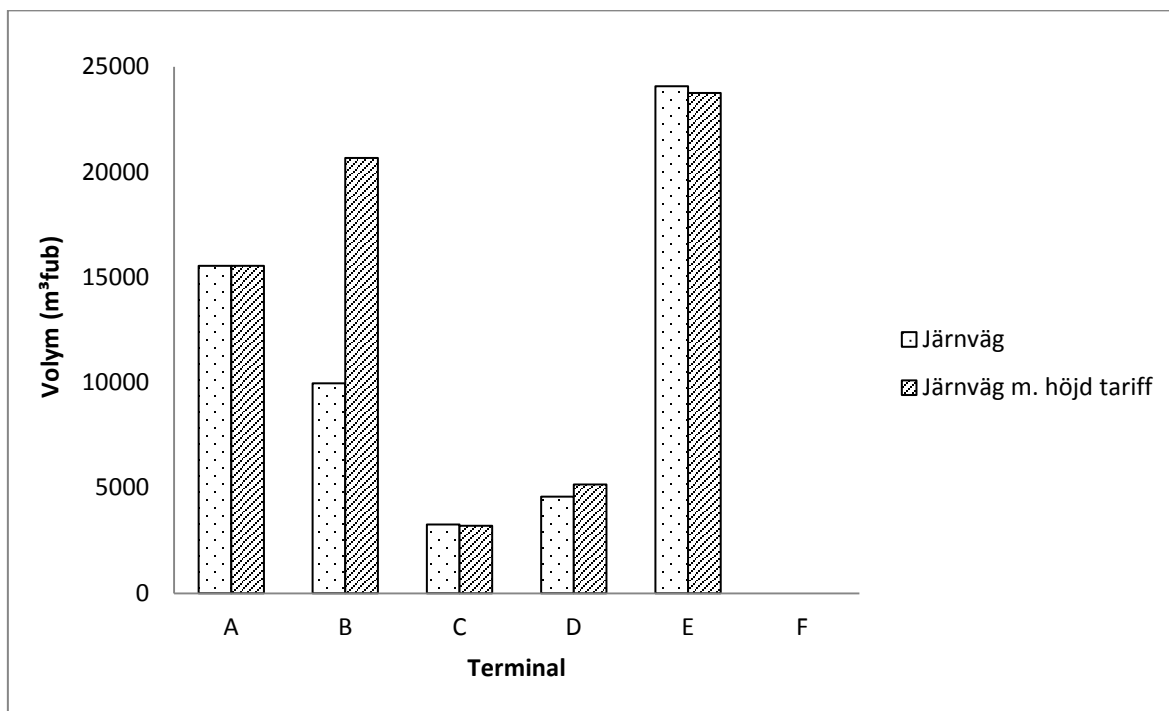
Figure 8. Wood flow of the assortment conifer pulpwood during the six month planning horizon. Historical flow (top left), optimal delivery plan (top right), optimal delivery plan with railroad (bottom left) and optimal delivery plan with railroad and higher truck transport cost (bottom right).



Figur 9 Flödeskarta för lövmassavedsflödet. Historiskt flöde (ö.v.), fast volym (ö.h.), fast volym med järnväg (n.v.) och fast volym med järnväg och höjd tariff (n.h.) för planeringshorisonten på sex månader.

Figure 9. Wood flow of the assortment deciduous pulpwood during the six month planning horizon. Real flow (top left), optimal delivery plan (top right), optimal delivery plan with railroad (bottom left) and optimal delivery plan with railroad and high truck transport cost (bottom right).

Optimeringen med hänsyn till järnväg resulterade i att modellen totalt fördelade ut ca 57000 m³fub av totalt 469000 m³fub barr- och lövmassa på totalt fem av sex terminaler. Totalt transporteras 12,6 % av virkesvolymen på järnväg och järnvägstransporten utgjorde 31,4 % av det totala transportarbetet. Vid införandet av en höjd transportkostnad för lastbil med 10 % ökade flödet över järnvägsterminalerna men i inget av scenarierna valde modellen att skicka volymer till terminal F (fig. 10). Totalt ökade flödet för barrmassaveden med 21,0 %, och för lövmassaveden med 12,0 %.

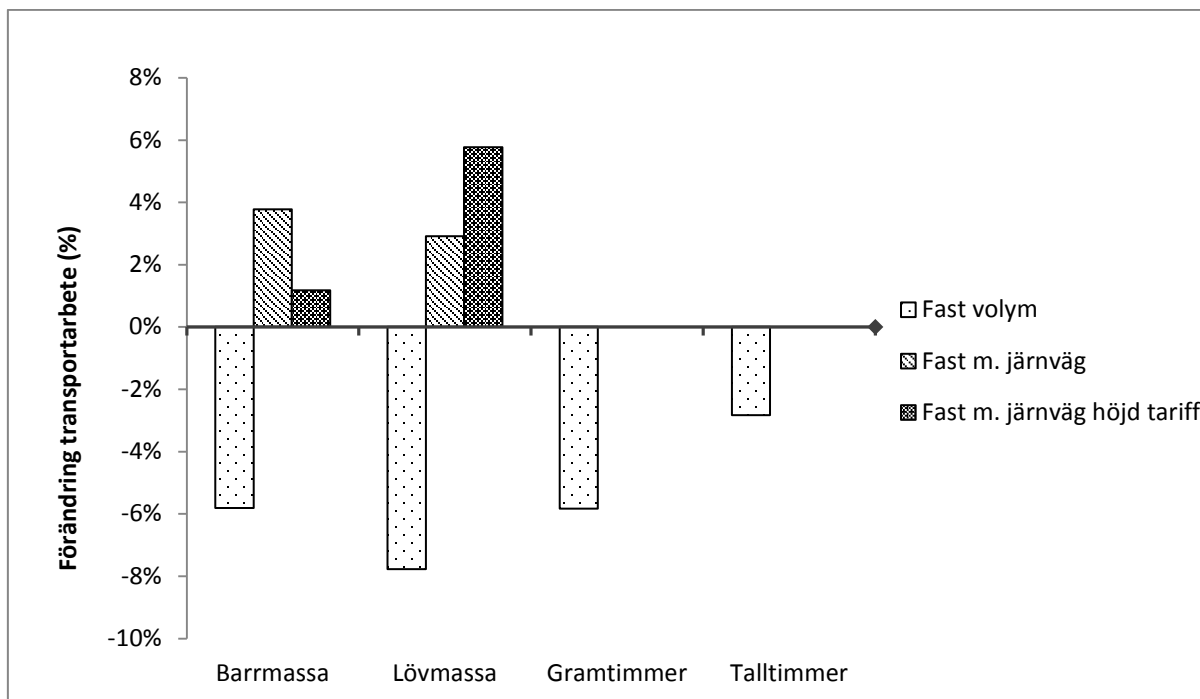


Figur 10. Virkesflöde över järnvägsterminal vid jämförelse av optimal transport med järnväg och optimal transport vid en ökning av transportkostnaden för lastbil. Optimeringen avser planeringshorisont på sex månader.

Figure 10. Change in delivered volume per railroad terminal between the different optimization alternatives (*Fast + järnväg = Delivery plan and access to railroad, Fast + järnväg, höjd tariff = Delivery plan with high truck transportcost and access to railroad*) and a six month planning horizon.

Förändring av transportarbete

För enbart lastbilstransporten hänger transportarbetets minskning till synes samman med ökningen av nettot. Transportarbetet minskade med 5,8 % för barrmassaveden och 7,8 % för lövmassaveden. Minskningen av transportarbetet var för grantimmer 5,8 % och talltimmer 2,8 %. Vid införandet av järnväg ökade transportarbetet med totalt 9,6 % i relation till scenariot *fast volym* för barrmassaveden och med 10,7 % för lövmassaveden. Vid scenariot *fast volym med järnväg, höjd tariff* införs en ökad kostnad för lastbilstransport. Detta resulterade till en minskning av transportarbetet för barrmassaveden med 2,6 % i relation till scenariot *fast volym med järnväg* och en ökning för lövmassaveden med 2,9 % (fig. 11).



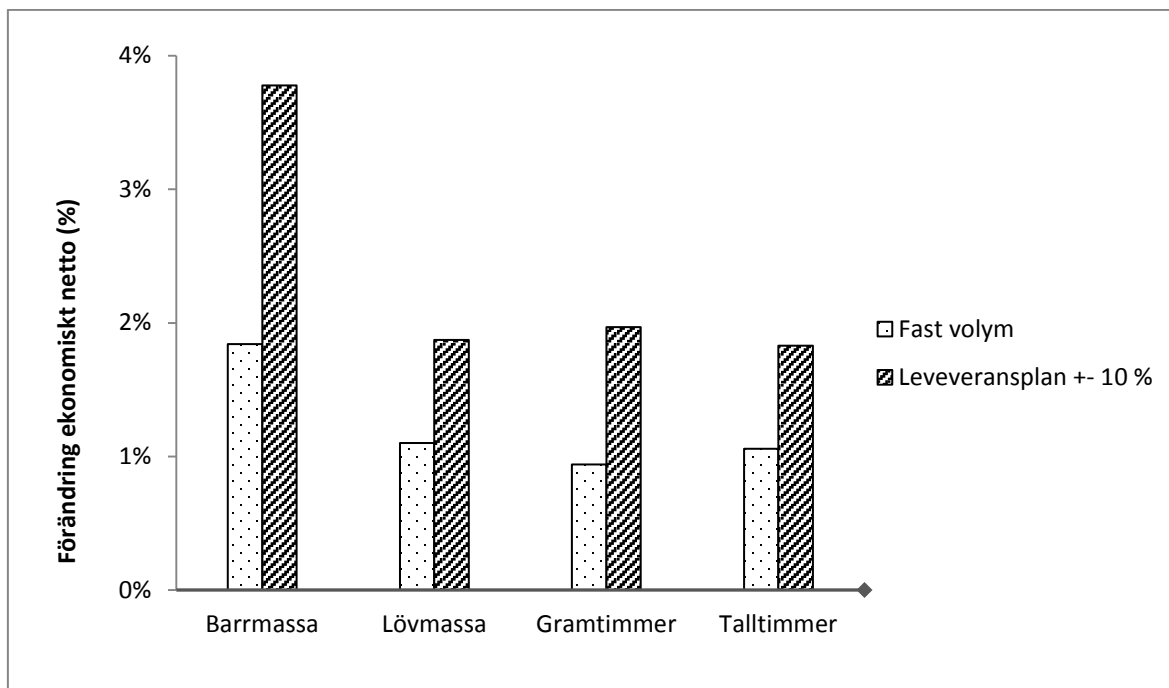
Figur 11. Förändringen av det totala transportarbetet per sortiment och scenario för planeringshorisonten på sex månader.

Figure 11. The relative change in total transportation work for the six month optimization period, after the different optimization alternatives (Fast volym = Delivery plan, Fast m. järnväg = Delivery plan and access to railroad, Fast m. järnväg, höjd tariff = Delivery plan with high truck transportation cost and access to railroad).

Planeringshorisont på två veckor

Förändring av ekonomiskt netto

Den teoretiska förbättringspotentialen vid scenariot *fast volym* var 1,8 % för barrmassaveden. För lövmassaveden låg förbättringspotentialen på 1,1 %, för grantimmer på 0,9 % och för talltimret på 1,0 %. För samtliga sortiment ökade förbättringspotentialen med lägre krav på leveransprecision. Skillnaden vid lägre krav på leveransprecision var störst för barrmassaveden med en ökning på 1,9 %, därefter kommer grantimret med en ökning på 1,0 % och sist lövmassaveden och talltimmer som båda hade en ökning av förbättringspotentialen med 0,8 % (fig. 12).

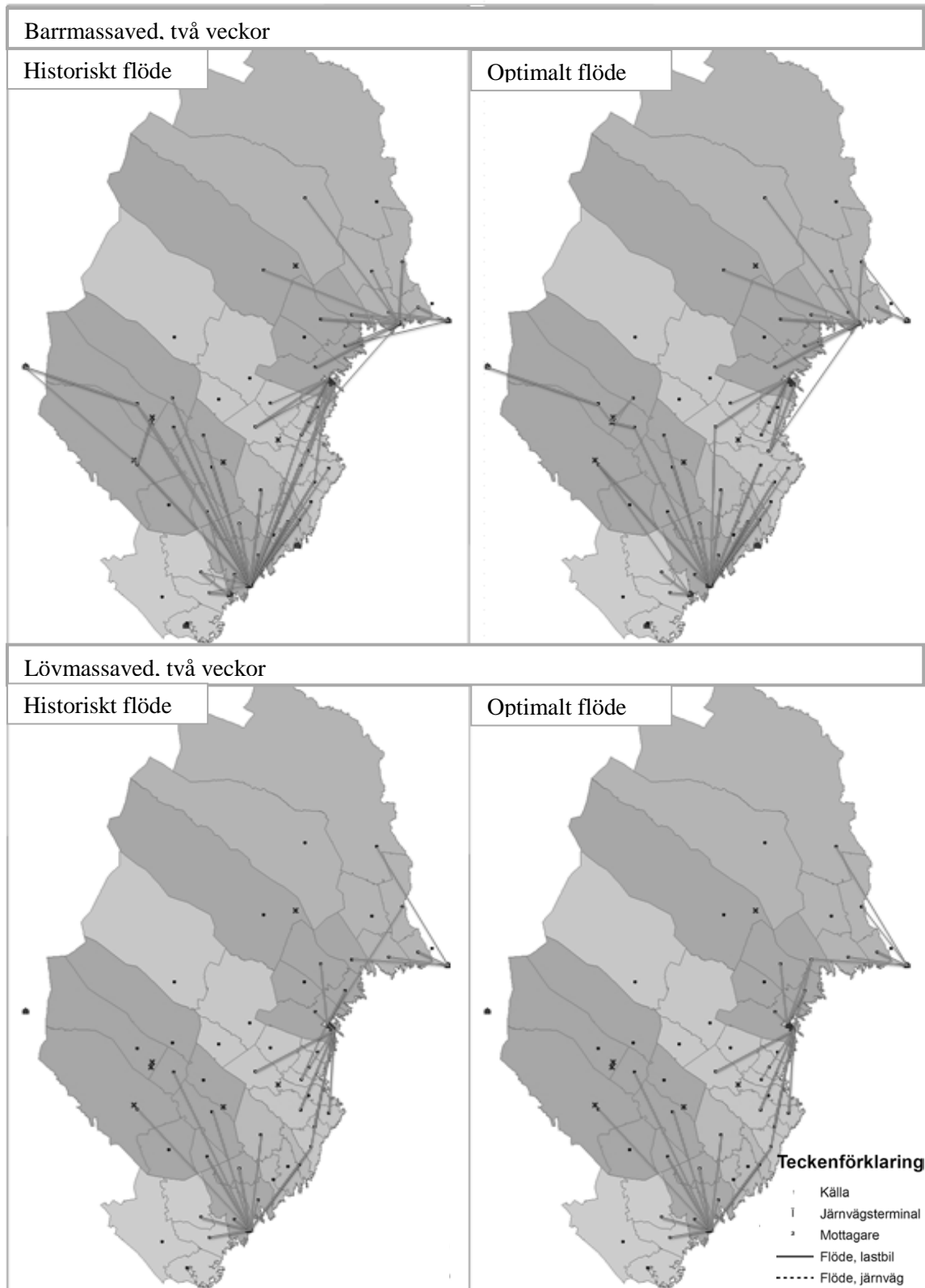


Figur 12. Förbättringspotential i ökning av det totala ekonomiska nettot per sortiment och scenario för planeringshorisonten på två veckor.

Figure 12. The relative change in total economic profit for the two weeks optimization period, after the different optimization alternatives (Fast volym = Delivery plan, Leveveransplan +/- 10 % = Delivery plan +/- 10%).

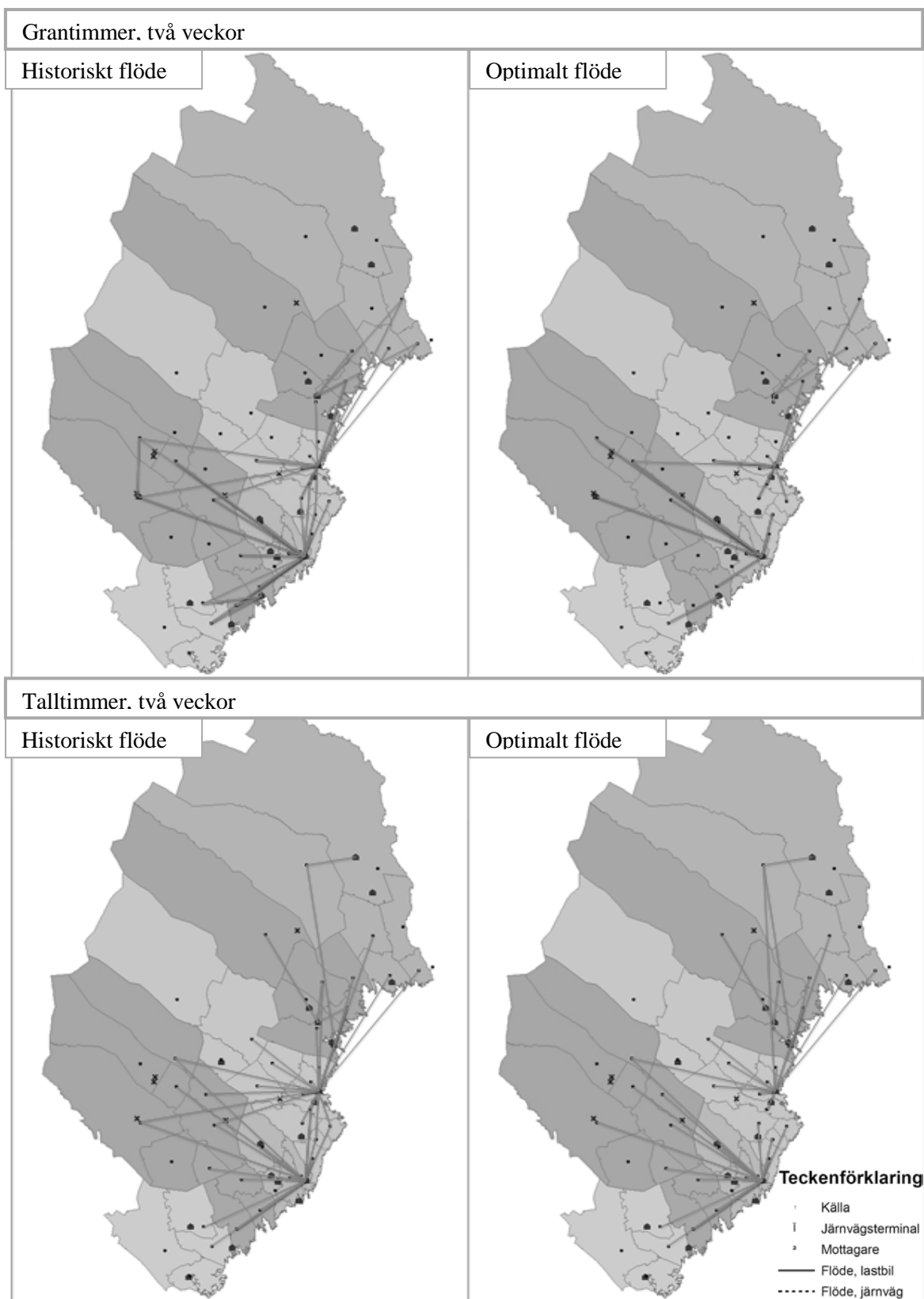
Förändring av virkesflöde

Även vid tvåveckorsoptimeringen minskade upptagningsområdena runt mottagande industri även om det inte är lika påtagligt som vid sexmånadersoptimeringen. Ett lättare krav på leveransprecision minskade upptagningsområdet ytterligare något då modellen får möjlighet att öka de lönsammaste flödarna. Det är också tydligt att de överlappande områdena mellan mottagarna är betydligt mindre för denna planeringshorisont i relation till planeringshorisonten på sex månader (se fig. 13 och fig. 14). Ett intressant fenomen som uppkom vid optimeringen av talltimmer är att en liten mottagares upptagningsområde blir omslutet av en större mottagares. Det finns en antydning till detta fenomen i flertalet optimeringar men det är tydligast vid optimeringen av sortimentet talltimmer (fig. 14).



Figur 13. Flödeskarta för massavedsflödet. Historiskt flöde barrmassaved (ö.v.), fast volym barrmassaved (ö.h.), historiskt flöde lövmassaved (n.v.), fast volym lövmassaved (n.h.) för planeringshorisonten på sex månader.

Figure 13. Wood flow of the pulpwood assortments during the six month planning horizon. Real conifer wood flow (top left), optimal conifer delivery plan (top right), real deciduous wood flow (bottom left), optimal deciduous delivery plan (bottom right.)

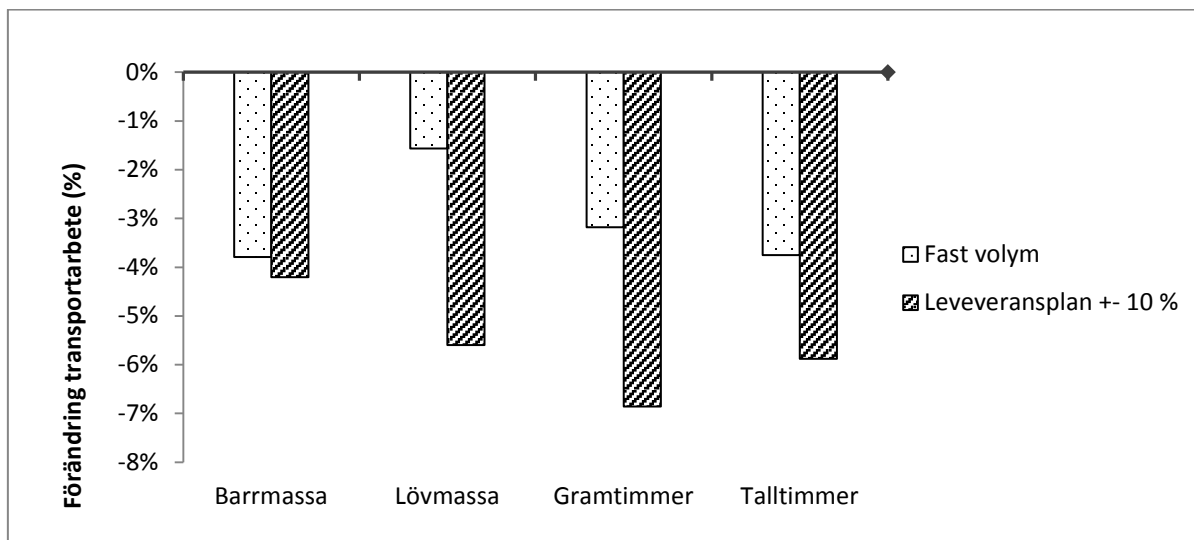


Figur 14. Flödeskarta för timmerflödet. Historiskt flöde grantimmer (ö.v.), fast volym grantimmer (ö.h.), historiskt flöde talltimmer(n.v.), fast volym grantimmer (n.h.) för planeringshorisonten på sex månader.

Figure 14. Wood flow of the timber assortments. during the six month planning horizon. Real spruce wood flow (top left), optimal spruce delivery plan (top right), real pine wood flow (bottom left), optimal pine delivery plan (bottom right).

Förändring av transportarbete

Förändring av transportarbetet vid scenariot *fast volym* var en minskning på 3,8 % för barrmassaveden, 1,6 % för lövmassaveden, 3,2 % för grantimret och 3,8 % för talltimret. Vid scenariot *fast volym, leveransplan +/- 10 %* minskar transportarbetet i relation till scenariot *fast volym* med 0,4 % för barrmassaveden, 4,0 % för lövmassaveden, 3,7 % för grantimret och 2,1 % för talltimret (fig. 15).

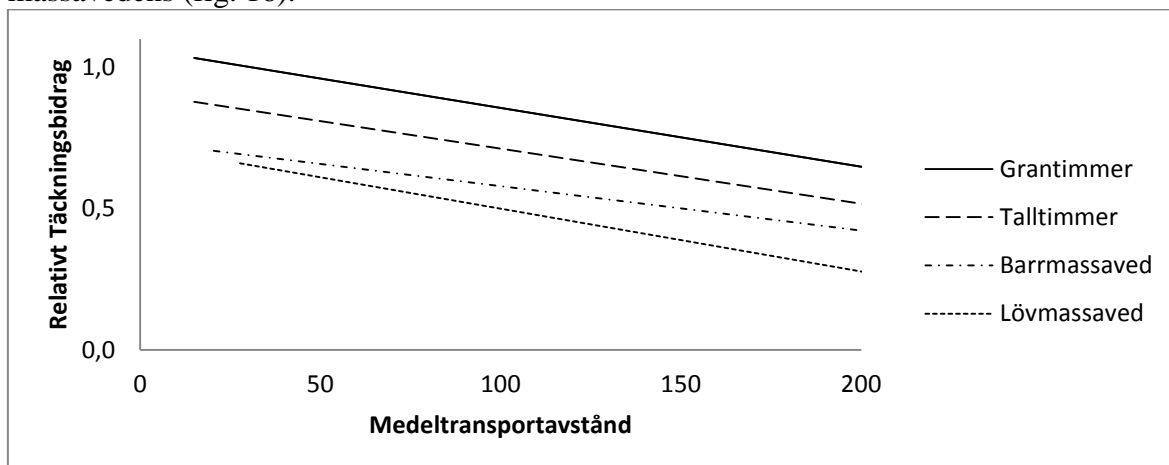


Figur 15. Förändringen av det totala transportarbetet per sortiment och scenario för planeringshorisonten på två veckor

Figure 15. The relative change in total transportation work for the two weeks optimization period, after the different optimization alternatives (Fast volym = Delivery plan, Leveveransplan +/- 10% = Delivery plan +/- 10%)

Täckningsbidrag och medeltransportavstånd

Det beräknade täckningsbidraget per m³fub och flöde är högst för grantimmer oavsett transportavståndet. Skillnaden mellan de andra sortimenten är mindre men talltimmer har ett något högre täckningsbidrag än massaveden och barrmassaveden något högre än lövmassavedens (fig. 16).



Figur 16. Trendlinjer för relativt täckningsbidrag per sortiment i relation till medeltransportavståndet. Täckningsbidrag = 1,0 är det högsta skattade täckningsbidraget i samplet.

Figure 16. Trendline for relative contribution margin per assortment relative to mean transportation distance. Contribution margin = 1,0 are the greatest value of contribution margin in the sample.

4 Diskussion

Det avslutande kapitlet börjar med en diskussion av modellens utformning och de resonemang som ligger bakom val av aggregering, metod, utformning av användargränssnittet och utformningen av scenarioanalysen. Därefter följer en diskussion av analysens resultat samt en jämförelse med tidigare studier. Slutligen kommer ett kort avsnitt om fortsatta studier och arbetets slutsatser.

4.1 Reflektioner över modellens utformande

När det gäller modellens utformande har några valmöjligheter varit speciellt viktiga att fundera närmare över. Nedan redogörs för de överväganden som varit aktuella under processen samt för- och nackdelar med olika alternativ.

Aggregering av tillgångsnoder

Alla optimeringsmodeller innebär vissa förenklingar av verkligheten. En modell som tar hänsyn till alla parametrar och alla möjligheter skulle bli enormt stor, komplicerad och datatung. Därför måste man förenkla verkligheten och olika grundförutsättningar antas. Ett exempel på detta är den aggregering av virkesvolymerna som används i denna modell. Aggregeringen är en förutsättning för att beslutsstödet ska kunna användas i praktiken men nivån på aggregering är inte självklar. Då modellen endast kan räkna med ett avstånd från varje aggregat måste storleken på aggregaten spegla det verkliga transportavståndet med acceptabel precision. De aggregerade volymerna kan fördelas ut på flera mottagare men ett problem är att samma kostnad kommer att gälla alla volymer inom aggregatet. Vid val av församlingar som aggregeringsnivå är detta förmodligen inget problem då skillnaden i transportkostnad för varje avlägg inom församlingen är försumbar i den övergripande flödesplaneringen. Däremot blir antalet källor väldigt många och förarbetet med att ta fram och fylla i indata blir tidskrävande. Aggregeras volymerna ännu mer, upp till exempelvis kommunnivå blir det färre aggregat men ytterligare lägre precision då avståndet kan skilja kraftigt mellan avlägg inom området och det är då svårt att ange ett rättvist transportavstånd. Valet av SBO som aggregeringsnivå i detta arbete har varit en bra kompromiss där områdenas storlek är generellt är någonstans mellan församling och kommun. Storleken på varje område varierar över geografien med större områden i fjällnära terräng och mindre områden närmare kusten och industrin. Detta är gynnsamt då aggregatens storlek och därmed medeltransportavståndets medelfel får en mindre påverkan på resultatet med ett längre transportavstånd.

Vidare är medeltransportavståndet en viktig faktor i optimeringen och denna skattades utifrån en medelkoordinat för varje område. För att öka precisionen i optimeringen anges inte denna koordinat som den geografiska mittpunkten för varje område utan som medelvärdet av koordinaterna för samtliga avverkningar de senaste tre åren inom respektive SBO. Detta ger en god skattning av verksamhetens tyngdpunkt i området och ger ett mer rättvist transportavstånd än den geografiska mittpunkten i exempelvis de fjällnära områdena. Avståndet från denna koordinat beräknades med tjänsten Krönt Vägval som är det idag bästa sättet att skatta billigaste vägvalet för en virkestransport med lastbil. Medelkoordinaterna beräknades utan hänsyn till storleken på varje enskilt avlägg. Att inte bara ta hänsyn till avläggens position utan även dess volym ger en säkrare medelpunkt av verksamhetsområdet men i denna studie fanns inte avläggens storlek tillgängliga. Därför har det antagits att variation-

en på avläggens storlek är jämnt fördelade över området och dess påverkan på medelpunktens koordinat är försumbar.

Optimering med hänsyn till järnväg

Optimeringen av flödet med tillgång till järnväg har inte tagit hänsyn till tre potentiellt viktiga faktorer. Den första är begränsningar i resurs, där det i verkligheten måste sättas en gräns för största möjliga volym in per terminal och flöde då detta begränsas av storleken på terminal, tillgängliga tågset med mera. Den andra faktorn är att modellen endast använder sig av linjära kostnadsfunktioner. Den verkliga kostnaden för järnvägstransport är inte linjär utan beror på vilka volymer som transporteras. Exempelvis är grundkostnaden för att driva en terminal relativt stor och kräver ett visst virkesflöde per tidsenhet för att uppnå god lönsamhet. Detta leder in på den tredje faktorn som är att NETRA optimerar sortimentvis och förutsätter att ingen korrelation mellan sortimenten finns. Vid järnvägstransport kommer flera sortiment att transporteras över samma terminal. Både resursbegränsningar och kostnaden beror alltså på det totala flödet av alla sortiment; trots detta bör dessa faktorer inte ha någon större betydelse för resultatet av detta arbete, för även om modellen tog hänsyn till dessa faktorer är Norra Skogsägarna inte ensamma i transport på något tågset eller in till någon järnvägsterminal. Det är därför inte möjligt att räkna på resursbegränsningar eller den totala kostnaden för en järnvägsterminal endast utifrån Norra Skogsägarnas egna virkesflöden särskilt när Norra skogsägarna inte äger terminalen och det är därmed det totala flödet från flera transportörer som utgör restriktionen i flöde. De enda sättet att hantera detta problem är att använda sig av generella, linjära kostnadsfunktioner vilket NETRA gör idag.

Beslutsstödet gränssnitt

Ett beslutsstöd som detta går att konstruera utanför Excel eller liknande kalkylprogram, genom att skapa ett menysystem runt en extern optimeringsmotor. Problemet är att det är svårt att arbeta med stora volymer indata på ett rationellt sätt utanför ett kalkylprogram och samtidigt är den enda vinsten med att lyfta beslutsstödet ur Excel i det här fallet att kunna använda en kraftfullare optimeringsmotor. Något sådant behov finns ej när det gäller NETRA där en optimering endast tar 6-7 sekunder att lösa tillsammans med en grafisk visualisering.

I utvecklandet av användargränssnittet måste ett system för datahantering väljas. De indata som modellen behöver kan begäras av användaren genom att öppna ett formulär där data kan anges. Detta system är enkelt och tydligt för användaren samtidigt som det är säkert ur utvecklarens perspektiv då det är svårt att göra "fel" för användaren. I NETRA sker all indata direkt i arbetsbladet. Fördelen med detta är att Excel erbjuder en högre funktionalitet vid inmatning direkt i arbetsbladet till skillnad mot indata via formulär. Exempelvis kan användaren fylla i en formel som anger önskad indata, eller så finns möjligheten att länka cellvärden till andra Exceldokument. Genom att användaren måste fylla i indata direkt i arbetsbladet ökas flexibiliteten och möjligheterna. Risken att användaren gör "fel" och ändrar bladet på ett ej önskvärt sätt har minimerats genom att lösenordskydda alla vitala delar av bladet.

Validering

I utvecklingen av NETRA har det varit viktigt att validera beslutsstödet. Valideringen går att dela upp i två delar. Första delen var att validera det beräknade medeltransportavståndet. För att validera det beräknade medeltransportavståndet gjordes en jämförelse mellan

skattat och historiska medeltransportavståndet. Data på transport från respektive område samlades för de senaste tre åren. Genom att plotta dessa i en graf kunde flöden med stor skillnad mellan det skattade och det historiska medeltransportavståndet kontrolleras. Dock fanns inga transporter på flertalet av de potentiella flödena vilket begränsat denna validering till endast en del alla potentiella flöden. De flöden som har transporterats till under de senaste tre åren måste däremot anses vara de i huvudsak viktigaste flödena. Sannolikheten att det optimala flödet är ett flöde som Norra skogsägarna aldrig transporterat till är förmodligen relativt lågt. Ytterligare en felkälla i de historiska medeltransportavstånden är att vissa trakter där markägaren äger skog i flera områden har alla dessa trakter kopplats till det SBO som markägaren bor i. Den andra delen av valideringen har varit att analysera resultatet av kvantifieringen av förbättringspotential tillsammans med personal på värd företaget som utifrån erfarenhetstal bedömt rimligheten i det föreslagna optimala virkesflödet. I denna del har visualiseringen av virkesflödet varit avgörande för att upptäcka eventuella felaktigheter i modellen. Eventuella flöden som av Norra Skogsägarnas personal anses vara tveksamma har kontrollerats ytterligare genom att med grunddata manuellt beräkna nettot för flödet.

4.2 Analys av förbättringspotential

Vid en flödesoptimering som denna är valet av planeringshorisont en väldigt viktig del i resultatets precision. Problemet är de olika grundförutsättningar som optimeringen arbetar utifrån. Exempelvis tar modellen ingen hänsyn till oförutsedda händelser som till exempel tjallossning, driftstopp hos industrin med mera. Ju längre planeringshorisont desto större är sannolikheten att något oförutsett ska hända. En annan förutsättning som modellen arbetar utifrån är att allt virke är tillgängligt under hela planeringshorisonten och att industrin kan ta emot leveranserna under hela perioden. I verkligheten går det inte att planera trakterna utifrån att virket ska falla ut rätt i tid för att uppfylla det optimala flödet utan upptagningsområdet för industrin kommer att variera över tid. På årsbasis uppkommer det därmed överlappande områden mellan industrierna uppkomma där den optimala destinationen varierar över tid. Dessa två faktorer förklarar den höga förbättringspotential som finns med optimering på den längre planeringshorisonten.

Tillgängliga volymer och efterfrågan i denna analys är inga skattningar utan är satta efter vad som verkligen levererades in under de två olika planeringshorisonterna. Detta leder till att tillgång och efterfrågan är i balans och modellen kan inte lämna ett väglager utan måste leverera in alla volymer till mottagare. Under den kortare perioden på två veckor bör den tillgängliga volymen vid periodens start i verkligheten ha varit något större än vad som levererades in. En målsättning att omsätta väglagret på fyra veckor skulle betyda att det tillgängliga väglagret skulle kunna vara dubbelt så stor som leveransen under perioden. En optimering på hela väglagret skulle dock gett en optimering där tillgång och efterfrågan inte längre är i balans och resultatet skulle överskatta förbättringspotentialen då endast de volymer som låg närmast industrin skulle ha levererats in under optimeringshorisonten och de kvarvarande volymerna som inte behövts för att uppfylla leveransplanen är de volymer som har långa transportavstånd. För den längre planeringshorisonten bör skillnaden mellan den faktiskt tillgängliga volymen och den levererade vara försumbar.

Prisuppgifter för kostnader och intäkter kommer direkt ur gällande avtal för perioden. Inköpspriset för timmer är omräknat till medelpris per m³fub för perioden och massavedspri-

set kommer direkt ur för perioden gällande prislista. Detta betyder att alla kostnads- och prisuppgifter inte är skattningar utan kommer direkt ur faktiska avtal.

Förändring av ekonomiskt netto

Resultatet visar att det finns en högre förbättringspotential för massaved än för timmer. Till viss del kan detta förklaras med det ekonomiska nettot är högre för timmer än för massaved. Med andra ord ger en förbättringspotential som är lika stor för massaveden som för timret i absoluta tal en mindre relativ förbättringspotential för timret (fig. 16). Ytterligare en förklaring kan vara att Norra Skogsägarna har en bättre flödesplanering för timmer än för massaved, detta då timret destinerar före drivningen och virket apteras mot ett specifikt sågverk medan tillredningen av massaveden är mer generell och kan skickas till flertalet mottagare.

Den ökade förbättringspotentialen vid längre planeringshorisont förklaras främst av att allt virke inte är tillgängligt vid planeringshorisontens början. Då avverkningarna sker successivt under perioden är det inte sannolikt att dessa ska falla ut i rätt tid för att svara mot efterfrågan och den optimala flödesplaneringen. Dessutom ökar sannolikheten för oförutsedda händelser. Ökningen av förbättringspotentialen vid ett lägre krav på leveransprecision kan förklaras med att Norra Skogsägarna inte har möjlighet att kontraktera de optimala volymerna. Om modellen tillåts frångå planen ökar den förväntade vinsten.

Förbättringspotentialen för optimering med tvåveckorsplaneringshorisont i denna studie på 1,7 % för massaveden stämmer bra överens med resultatet från Örtendahls (2001) beräknade förbättringspotential på 2,2 % för samma period år 2001. Dock ska tilläggas att Örtendahl även inkluderade sortimentet FFG i sin analys. Motsvarande förbättringspotential för endast barmassaveden var i denna studie 1,8 och Mellqvists (2004) skattade förbättringspotential till 2,3 % för samma period och sortiment år 2004 (tab. 2). Denna studie är den tredje versionen av beslutstödet NETRA som utvecklats för Norraskogsägarna sen 2001. Även om vissa skillnader finns i de olika modellerna och hur resultatet redovisats i respektive rapport finns en tendens att den teoretiska förbättringspotentialen minskar för varje ny version av NETRA (fig. 2). Detta bör till del kunna förklaras med att införandet av ett beslutstöd har en positiv påverkan på flödesplaneringen.

Tabell 2. Relativ förbättringspotential för planeringshorisont på två veckor för de tre versionerna av NETRA inklusive denna studie. * FFG ej inkluderat

Table 2. The relative change in total economic profit for the two weeks optimization period, and the tree studies of NETRA including this study. FFG not included in analysis*

	Totalt för massaved och timmer	Totalt för massaved	Barmassaved	Grantimmer	Talltimmer
Örtendahl (2001)	-	2,2%	-	-	-
Mellqvist (2004)	1,5%	1,5%	2,3%	1,0%	2,9%
Edlund (2013)	1,3% *	1,7% *	1,8%	0,9%	1,1%

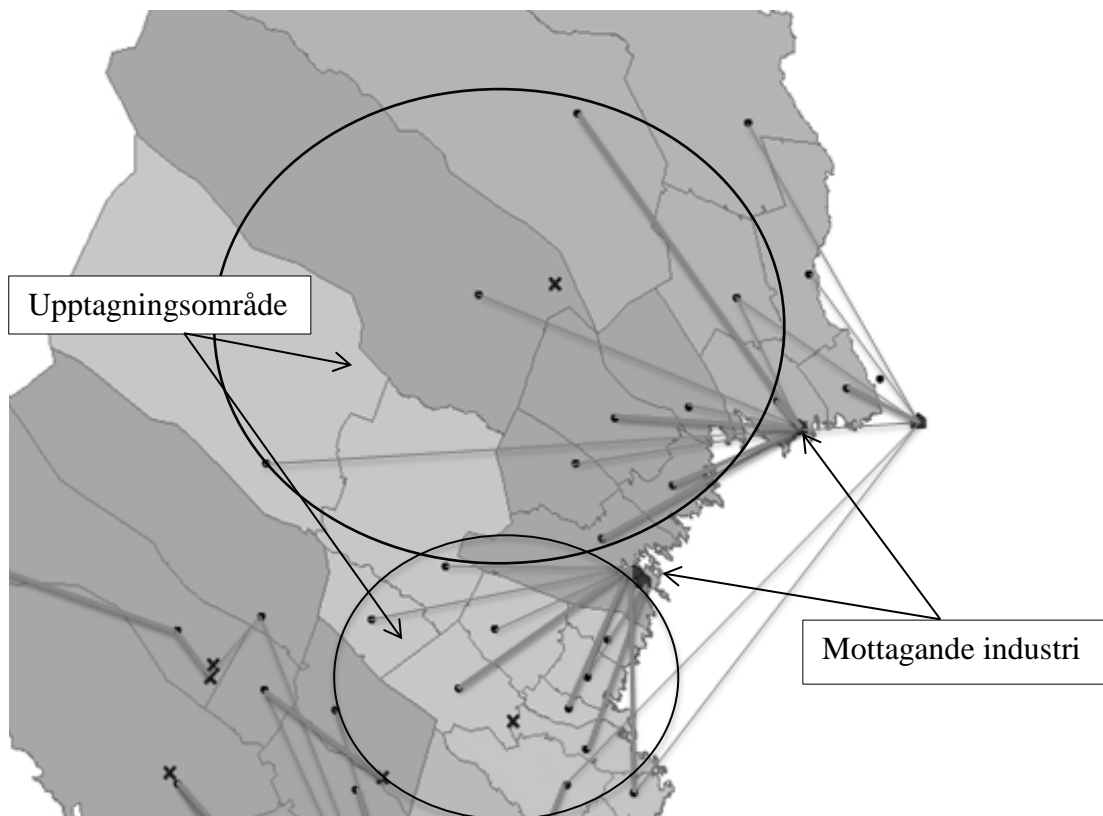
Det är svårare att jämföra resultatet av denna studie med resultatet av optimeringar utförda med hjälp av FlowOpt, detta då resultatet av en optimering med FlowOpt har varit en potentiell kostnadsbesparing till skillnad från resultatet av denna studie som är en potentiell ekonomisk nettoökning. Jämförelsen ger dock en bild av storleken och variationen på besparingspotentialen. Forsberg (2003) fann en potentiell kostnadsbesparing på 5,1 % med hänsyn till potentiella returflöden. Studien använde sig av en tvåveckors planeringshori-

sont. Carlsson & Rönnqvist (1998) fann en besparingspotential på 0,4-2,9 % utan hänsyn till potentiella returflöden och 5,1-6,8 % med hänsyn till returtransport. Studien baserades på en veckas planeringshorisont. Holmgren (1999) fann att besparingspotentialen var 3,4 % för optimal flödesplanering med hänsyn till potentiell returtransport. Studien använde sig av en två veckors planeringshorisont. Lindwall (2003) fann att besparingspotentialen var 2 % för optimal flödesplanering utan hänsyn till returflöden. Studien baserades på en veckas planeringshorisont. Adrup (2004) fann en minskning av kostnaden vid optimal flödesplanering med 6,7 % utan hänsyn till returflöden vid införandet av järnväg. Denna kostnadsminskning ska sättas i relation till ökningen av nettot i denna studie vid införandet av järnväg. Den var för barmassaveden 1,2 % och 1,8 % för lövmassaveden. Ytterligare ett beslutsstöd för flödesoptimering var det Bergdahl (2002) tog fram för flödesplanering i Excel utan hänsyn till potentiell returtransport och syftar till att minimera transportkostnaden. Analysen gjordes på Holmen Skog och på en planeringshorisont på två veckor fanns en potentiell kostnadsbesparing på 5,3 %

Den förbättringspotential som skattats i denna studie är den teoretiskt maximala förbättringspotentialen under de förutsättningar som modellen arbetar utifrån. Detta leder till att den verkliga praktiskt uppnåbara förbättringspotentialen ligger betydligt lägre, ca 40-60 % av den teoretiska förbättringspotentialen (Frisk, 2012, pers. komm.). Detta skulle ge cirka 1 % i förbättringspotential för barr- och lövmassaveden, samt 0,5 % för tall- och grantimret i högsta praktiskt genomförbara förbättringspotentialen.

Förändringen i virkesflöde

Vid optimeringen minskade kraftigt de överlappande delarna av mottagarnas upptagningsområde. Detta beror främst på att optimeringen endast är av en period och speglar det optimala flödet i en ögonblicksbild. I verkligheten förändras det optimala flödet beroende på variationen i tillgång och efterfrågan över tid. Dessa överlappande områden skapas där virkets optimala destination varierar och är givetvis större vid optimeringen med sex månaders planeringshorisont än vid optimeringen med tvåveckors planeringshorisont. Vid optimeringen av barmassaved och vid sex månaders planeringshorisont uppkommer några få flöden med väldigt långa transportavstånd. Detta kan förklaras med att upptagningsområdena för flera av de mottagande industrierna är väldigt snedfördelade. Virket i mottagarnas närområde räcker inte för att uppfylla leveransplan utan upptagningsområdet sträcker sig fram till "nästa" industri och ibland ytterligare en bit (fig. 17). Detta förskjuter i sin tur nästa industris upptagningsområde. Då vägnätet i generellt i hela verksamhetsområdet går från inlandet ut till kusten där industrin ligger passerade flera av de långa virkesflöden en annan möjlig mottagare på sin väg till sin destination. Eftersom det är det totala ekonomiska nettot som ska maximeras finns det inget incitament för modellen att minska medeltransportavståndet till en enskild industri om det betyder att det totala nettot minskar. Det är förklaringen till att exempelvis två flöden från Skellefteå till Finland uppkommit. För att uppfylla leveransplanen hade alternativet varit att istället skicka virket från Skellefteå till en mottagare Piteå, virke från Piteå förbi mottagaren där och upp till Kalix och virke från Kalix förbi mottagaren i Kalix och vidare till Finland. I detta fall var det lönsammare med två långa flöden till Finland än att öka transportavståndet till mottagarna i både Piteå och Kalix. Vid optimeringen av grantimmer uppkom ett liknande fenomen där en mindre mottagares upptagningsområde blev helt omsluten av en större (fig. 14).



Figur 17. Förstoring av flödeskartan för barmmassavedsflödet under planeringshorisonten på sex månader och scenariot *Fast volym*. Observera de inringade områdena som är exempel på områden där de mottagande industrierna ligger i utkanten av sina respektive upptagningsområden.

Figure 17. Enlargement of the pulp wood flow for the six month planning horizon and the scenario optimum delivery plan. Note the encircled areas that are examples of where the recipient mills are located in the very outskirts of their own respective catchment areas.

Förändring av transportarbete

Vid optimeringen utan järnväg minskar transportarbete med ökat ekonomiskt netto i jämförelse med verklig transport. Detta dock inte utan undantag, transportarbetet ökade för vissa flöden där det fanns skillnader i pris fritt industri mellan möjliga mottagare. Det kan då vara optimalt att köra virket något längre till en annan mottagare som betalar bättre. Vid införandet av järnväg minskar inte transportarbetet med ett ökat netto som följd. Detta då järnväg är ett billigt alternativ för långa transporter. Tillgången till järnväg ökar därmed transportarbetet samtidigt som nettot. Vid inget av scenarierna sker någon transport via en av järnvägsterminalerna. Detta beror på att denna terminal ligger i samma område och relativt nära en annan terminal som i båda fallen var billigare att transportera virket via. Ett intressant fenomen är att vid scenariot med en höjd transport tariff för lastbilstransport minskade transportarbetet för barmmassaved i relation till järnväg och normal transporttariff medan transportarbetet ökade för lövmassaveden. Förklaringen till detta beror på två huvudsakliga faktorer. För det första blir järnväg ett mer lönsamt alternativ till lastbil och järnvägsflödet ökade för de båda sortimenten. För det andra innebär det också att transportkostnaden får en ökad påverkan på nettot och det optimala flödet ändras till något mer likt resultatet av en optimering med en modell som syftar till att minimera transportkostnaden.

Transportarbetet i Örtendahls (2001) studie minskade med 6,7 % vid optimal transport där allt virke såldes fritt industri. I föreliggande studie minskade transportarbetet med 3,8 % för barmassaveden i ett motsvarande scenario. Adrup (2004) fann att järnväg stod för 30,9 % av totalt transportarbete i sin studie med FlowOpt. I föreliggande studie är motsvarande andel 31,4 %.

En jämförelse mellan täckningsbidrag och medeltransportkostnad

Genom att plotta det enskilda flödets täckningsbidrag i ett diagram i relation till sortiment och skattat medeltransportavstånd kan sortimentens relativa värde framgå oberoende av transportavståndet. Då antalet mottagare varierar över geografi och i antal mellan de olika sortimenten ges här en bild av dess värde oberoende av detta. Här ser man tydligt att det ekonomiska nettot per flöde är i absoluta tal betydligt större för timret än för massaveden. Även om förbättringspotentialen genomgående är lägre för timret än för massaveden är det viktigt att observera att en lika stor ökning av nettot i absoluta tal ger en lägre relativ ökning för timret än för massaveden då det timrets totala netto är högre.

4.3 Vidare studier

Nästa steg i utvecklandet av NETRA skulle kunna vara att utveckla modellen till att beakta flerperiodsoptimering. Genom att fortfarande använda sig av linjärprogrammering förblir relativt enkel trots att antalet variabla celler kraftigt ökar bör OpenSolvers optimeringsmotor kunna hantera det. Om vi tar exemplet ett års optimering bör det gå att sätta ut en årsvolym per SBO som tillgängligt lager och månadsvis och årsvis leveransplan som efterfrågas; volymerna per månad måste styras med begränsningar i resurs. Då skulle det också vara meningsfullt att lägga in funktioner för att hantera terminal- och lagerkostnader. En djupare analys av järnvägstransport skulle kunna ta hänsyn till exempelvis vilka sträckor som är diesel- och elförsörjda samt vilken minsta volym per tågssystem som krävs för god lönsamhet.

Det saknas idag en studie på hur storleken på aggregaten påverkar resultatet. Därför skulle en optimering med flera olika grader av aggregering kunna visa på vilken påverkan aggregeringen har på resultatet.

4.4 Slutsatser

Det vidareutvecklade beslutsstödet optimerar virkesflödet på hela Norra Skogsägarnas verksamhetsområde, med och utan hänsyn till järnväg. Beslutsstödet har ett utvecklat gränssnitt och det optimala flödet visualiseras med flödespilar på en karta och i form av tabeller. Totalt för samtliga sortiment fanns en förbättringspotential på 1,3 % till följd av optimal destinerings av lastbilsflödet. Den optimala virkesandelen på järnväg var 12,6 % av den totala volymen och innebar en ökning av den teoretiska förbättringspotentialen med 1,2 % för barmassaveden.

Unikt för denna studie är att detta är den tredje studien som analyserar förbättringspotentialen för optimal flödesplanering genomförd på samma företag under en 12 års period. Även om metoden skiljer sig något mellan de två tidigare versionerna av NETRA minskar den teoretiska förbättringspotentialen för varje studie (tab. 2). Det finns förmodligen fler faktorer som spelar in på förändringen av förbättringspotentialen än införandet av ett beslutsstöd men det antyder ändå att införandet av ett beslutsstöd som detta har en positiv inverkan på flödesplaneringen.

Källor

- Adrup, A. (2004) Analys av virkesflödet med transportoptimeringsmodellen FlowOpt – En utredning av Sveaskogs resursbehov. Skogsingenjörsprogrammet, SLU, Skinnskatteberg. Examensarbete 2004:10.
- Aeschbacher, B. (2012). Solving a Large Scale Integer Program with Open-Source-Software. Faculty of Economics, Business Administration and IT, University of Zurich, Zurich.
- Bergdahl, A. (2002). Olika faktorerers betydelse för potentiell kostnadsbesparing genom optimal destinerings av timmer i Norrland. Inst. f. Resurshushållning, SLU, Umeå. Examensarbete 53.
- Bergdahl, A. Fjeld, D & Örtendahl, A. (2003). The economic potential for optimal destination of roundwood in north Sweden – Effects of planning horizon and delivery precision. International Journal of Forest Engineering.
- Berglund, M. & Larsson, J. (2012). En jämförande kostnadsanalys av maskinsystem för upparbetning och transport av GROT. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå. Arbetsrapport 366.
- Carlsson, D. & Rönnqvist, M. (1998). Tactical planning of forestry transportation with respect to backhauling. Department of Mathematics, Optimization, Linköping University, Linköping.
- Dijkstra, P. (1984) Mathematical programming for natural resource management. McGraw-Hill, United States of America.
- Epstein, R. Morales, R. Serón, J. & Weintraub, A. (1999). Use of OR Systems in Chilean Forest Industries. Institute for Operations Research and the Management Sciences, Interfaces, Vol. 29, No 1, Franz Award Papers (Jan.-Feb., 1999), pp. 7-29.
- Flisberg, P. Frisk, M. & Rönnqvist, M. (2012). FuelOpt: a decision support system for forest fuel logistics. Journal of the Operational Research Society, 1-13.
- Flisberg, P. Lidén, B. & Rönnqvist, M. (2009). Krönt Vägval hittar smartaste vägen från skog till industri. Skogforsk, Uppsala. Resultat 6.
- Frisk, M. & Rönnqvist, M. (2005). FlowOpt – en väg till effektivare virkesflöden. Skogforsk, Uppsala. Resultat 8.
- Frombo, F. Miniciardi, R. Robba, M. Rosso, F. & Sacile, R. (2009). Planning woody biomass logistics for energy production: A strategic decision model. Biomass and Bioenergy 33
- Forsberg, M. (2003). Transportsamordning Nord – Analys av returtransporter. Skogforsk, Uppsala. Arbetsrapport 529.
- Gronalt, M. & Rauch, P. (2007). Designing a regional forest fuel supply network. Biomass and Bioenergy 31.
- Holmgren, M. (1999). Analys av rutt- och returkörning av rundvirke på Modo Skog. SLU, Umeå. Studentuppsats nr 25.
- Jokinen, O. Linnainmaa, S. & Savola, J. (1995). EPO: A Knowledge based system for wood procurement management. VTT Information Technology, IAAI-95, Proceedings.

- Lindwall, D. (2003). Studie av potentiell kostnadsbesparing vid rundvirkestransport i Melansverige. Inst. f. Resurshushållning, SLU, Umeå. Examensarbete 65.
- Löfroth, C. Ekstrand, M. & Rådström, L. (2004). Konsekvenser för skogsnäringen av Skatt på väg (SOU 2004:63)
- Mellqvist, P. (2004). Analys av massaveds samt timmerflöde med transportoptimeringsmodellen NETRA. Inst. f. Resurshushållning, SLU, Umeå. Examensarbete 69.
- Norra Skogsägarna. (2011a). Årsberättelse 2011. Norra Skogsägarna, kommunikationsavdelningen, Umeå.
- Norra Skogsägarna. (2011b). Stadgar för Norra Skogsägarna Ek. för. Stadgarna antagna genom beslut vid ordinarie föreningsstämma i Luleå den 19 maj 2011.
- Perry, M. (2012). The Call Center Scheduling Problem using Spreadsheet Optimization and VBA. Master of Mathematical Sciences, Operations Research, Virginia Commonwealth University, Richmond, Virginia.
- Skogsstatistisk Årsbok (2010).
- Örtendahl, A. (2001). Analys av massavedsflöde med transportoptimeringsmodellen NETRA. Inst. f. Resurshushållning, SLU, Umeå. Examensarbete 50.

Internet referenser:

OpenSolver for Excel: The Open Source Optimization Solver for Excel;
www.opensolver.org tillgänglig: 2012-09-20

Personlig kommunikation

Frisk, Mikael. (2012). Forskare, Skogforsk.