



Flödesoptimering av GROT-flis med beslutsstödet BioMax

Optimizing forest residue chips flows
with the decision support BioMax

Karl Narfström

Arbetsrapport 400 2013
Examensarbete 30hp A1E
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-400-SE

Flödesoptimering av GROT-flis med beslutsstödet BioMax

Optimizing forest residue chips flows
with the decision support BioMax

Karl Narfström

Examensarbete i skogshushållning vid institutionen för skoglig resurshushållning, 30 hp
Jägmästarprogrammet
EX0707

Handledare: Dag Fjeld, Institutionen för skoglig resurshushållning, teknologi, SLU

Extern handledare: Andreas Johansson, AB Karl Hedin

Extern handledare: Bo Holm, AB Karl Hedin

Examinator: Ola Eriksson, Institutionen för skoglig resurshushållning, planering, SLU

Förord

Detta examensarbete är en del av jägmästarutbildningen och omfattar 30 hp. Det har skrivits under Institutionen för skogshushållning vid Sveriges Lantbruksuniversitet i Umeå. Beställare av projektet var AB Karl Hedin – Råvara.

Jag vill tacka min handledare vid SLU, Dag Fjeld som bidragit med expertkunskap och ett mycket stort engagemang.

Hos AB Karl Hedin vill jag tacka Andreas Johansson och Bo Holm för god handledning och värdefulla synpunkter under arbetets gång. Jag vill även tacka Stig Strömberg för fältdemonstration av de olika maskinsystemen och för god hjälp med datainsamling.

På Skogforsk vill jag tacka Mikael Frisk som givit goda råd avseende optimerings specifika frågor.

Jag vill även tacka min sambo Sara Sköld som tålmodigt hjälpt mig att korrekturläsa rapporten.

Karl Narfström

Sammanfattning

Sönderdelning och transport av GROT (grenar och toppar) kräver dyra maskinsystem samtidigt som efterfrågan av sortimenteten varierar kraftigt under året. Det är därför svårt att planera flöden av GROT-flis effektivt och samtidigt välja rätt maskinsystem.

AB Karl Hedin är en sågverkskoncern lokaliserad i Bergslagen. De äger fyra sågverk varav tre är sverigebaserade. De levererar även GROT-flis till flertalet värmeverk och har ett behov av ett beslutsstöd som underlättar sortimentets flödesplanering och föreslår maskinsystem.

Projektets syfte var att skapa ett användarvänligt enperiodsbeslutsstöd med mål att maximera den totala vinsten och genom detta kvantifiera GROT-flisflödets förbättringspotential. Nio månaders historiska flödesdata kartlades och användes som jämförande testperiod.

Genom en fallstudie bestående av två scenarier analyserades optimeringar med månadsvisa, kvartalsvisa och säsongsvisa (9 mån) optimeringshorisonter:

1. Optimering genomfördes med historisk identisk tillgång och efterfrågan från testperioden. Beslutsstödet gavs således utrymme att styra flöden såväl som maskinsystemval.
2. Optimering genomfördes med historisk identisk tillgång från testperioden. Avseende efterfrågan tilläts ett avsteg på maximalt 10 % från varje mottagares verkliga inlevererade energimängder. Beslutsstödet gavs därigenom dessutom utrymme att delvis omfördela energimängder mellan mottagare.

Resultatet visade att längre optimeringshorisonter genererade högre potentiella vinster. Det andra scenariots tillåtna avsteg från respektive mottagares inlevererade energimängd styrde optimeringsutfallen mot transportavståndsminimering snarare än att höja leveranserna till de bäst betalande mottagarna.

Optimeringarna genererade estimerade höjningar av den totala vinsten på 4,9 till 9,2 % beroende på scenario och optimeringshorisont. Medeltransportavståndet reducerades vid optimering i genomsnitt med 12 km. Maskinsystemet lastbilshugg föreslogs genomgående före traktorhugg/lastväxlare.

Nyckelord: linjär programmering, optimering, logistik, biobränsle, transportarbete

Summary

Chipping and transportation of forest residues requires expensive machine systems and the delivery of this assortment must meet a large seasonal variation in demand. This makes for complex planning and decision support is needed to better select the right system and plan the transportation.

AB Karl Hedin is a sawmill company based in the Bergslagen area of Sweden. They own four sawmills, three of which are located in Sweden. They also supply raw materials to several plants, for which they expressed the need for a decision support system to handle the flows of forest residues.

The project's aim was to create a user-friendly single-period decision support system for optimizing forest residue chipping and flow planning, as well as to quantify the possible improvement potential enabled by such a system. The objective of the decision support was to maximize the profit. The development and test of the system was done using nine months of historical data from 2011-2012.

To quantify the improvement potential enabled by the system, two scenarios were analyzed with monthly, quarterly and seasonal (9 months) optimization horizons:

1. Optimization was performed using the identical supply and demand as found during the test period. In this scenario, the decision support was only allowed to influence the choice of machine system and destination of the transportation flows.
2. Optimization was performed with identical supply as found during the test period. The delivery to each customer was allowed to deviate up to 10 % from the historical delivery, with a greater possibility for re-allocation between customers.

The results showed that longer optimization horizons generated a higher potential profit. A permitted delivery deviation of up to 10 % generated a result which was primarily more by the transport cost than customer price. This is because transport distance varied more between potential customers than price did.

The results showed that the potential increase in profit varied between 4,9 and 9,2 % depending on the scenario and optimization horizons. The average transport distance reduction for all the optimizations was 12 km. Both scenarios resulted in truck-mounted chippers being more frequently chosen than tractor-mounted chippers.

Keywords: linear programming, optimization, logistics, biofuel, transport work

Innehåll

Förord	6
Sammanfattning.....	7
Summary.....	8
1. Inledning.....	10
1.1 Bakgrund	10
1.2 Tidigare studier avseende flödesplanering	12
1.3 Uppdragsgivare.....	14
1.4 Syfte.....	15
2. Material och metod.....	16
2.1 Beslutsstödet modellformulering	16
2.2 Skapande av avståndsmatris	18
2.3 Beräkningssteg vid modelltillämpning.....	19
2.4 Analys av fallstudie	21
2.5 Känslighetsanalys av traktorhugg/lastväxlares tariffer.....	21
3. Resultat	22
3.1 Kartläggning av testperiodens historiska GROT-flis flöde.....	22
3.2 Scenario 1	23
3.3 Scenario 2	26
3.4 Jämförelse mellan Scenario 1 och Scenario 2	30
3.5 Känslighetsanalys av traktorhugg/lastväxlares tariffer.....	31
4. Diskussion	34
4.1 Kritik mot beslutsstödet modellformulering.....	34
4.2 Kritik mot beslutsstödet indata	37
4.3 Utvärdering av beslutsstödet förbättringspotential	38
4.3.1 Ekonomisk vinst	38
4.3.2 Medeltransportavstånd.....	39
4.3.3 Optimeringshorisontens effekt på upptagningsområden	39
4.3.4 Leveransplansavstegets effekt på optimeringsutfall.....	40
4.4 Resultatpresentationens betydelse vid flödesoptimering.....	40
4.5 Metodik för användning av BioMax som förhandlingsstöd.....	42
4.6 Framtida utveckling av systemval	43
4.7 Slutsatser.....	44
Referenser.....	45
Bilagor	48

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Andelen förnyelsebar energi i Sverige ligger på ca 47 % men det finns ett nationellt mål på 50 % till år 2020 (Energimyndigheten, 2009). Drygt 20 % (137 TWh) av Sveriges totala energitillförsel år 2010 bestod av biobränslen (Skogsstyrelsen, 2012). Skogsindustrin har under de senaste 5 åren ökat leveransen av biobränsle med 3 TWh/år, motsvarande 1 till 1,5 miljoner m³fub/år. Ökningen beror till stor del på att problem kring den globala uppvärmningen blivit allt mer aktuella samtidigt som råoljepriserna är långsiktigt stigande (Björheden et al., 2010). Merparten av biobränslen från skogsindustrin är restprodukter från massaindustrin och sågverken men en växande andel kommer direkt från skogen. 32 TWh biobränslen med ursprung i skogsbruket eldades år 2010 i värmeverk och ca 12 TWh (Skogsstyrelsen, 2012) av detta utgjordes av avverkningsrester i form av GROT (grenar och toppar). Vid transport fyller dessa avverkningsrester i flisad form ca 120 000 lastbilslass. Av stora transporterade volymer följer att det är av vikt att transporterarna genomförs effektivt, dels för att minimera miljöbelastningen, dels för att maximera GROT-handelns vinst.

En slutavverkning resulterar normalt i huvudsortimenten: timmer, massaved och GROT. Kortvirkesmetoden är den helt dominerande avverkningsmetoden i Sverige och bygger på att avverkning och aptering sker med skördare, att transport av rundvirket till bilväg sker med skotare och att transport till industri sker med timmerbil. GROT skördas i samband med rundvirkeskörning men skotas vanligen med en specialbyggd skotare. Sönderdelning och transport av GROT kan ske med ett flertal olika maskinsystem (Figur 1). Det vanligaste förekommande maskinsystemet är kombinationen traktorhugg och lastväxlare (Eliasson, 2010). Traktorhugg är en skotare med monterat huggaggregat som vanligen flisar GROT direkt i burens balja som därefter tippas i containrar passande för lastväxlaren. Traktorhuggens största fördel är att den når objekt som ej är tillgängliga från bilväg, nackdelen är att systemet är dyrt. Lastväxlaren är en lastbil med plats för tre containrar. Varianten finns även där traktorhuggen flisar direkt på marken eller på matta och vidaretransport sker med skopbil (självlastande flisbil). Lastkapaciteten för såväl lastväxlare och skopbil ligger mellan 31 - 33 ton. Traktorhugg/lastväxlare lämpar sig bäst för större avlägg med längre transporter. Lastbilshugg är ett integrerat sönderdelnings och transportsystem som blir allt vanligare. Standardvarianten är en lastbil med en hugg monterad bakom första baljan följt av ett släp med ytterligare en balja. Nackdelarna med systemet är att det endast når vältor längs bilväg samt att lastkapaciteten är låg (25 - 28 ton) då huggaggregatet hela tiden transporteras. Fördelen är att flyttkostnader för externa maskinsystem för flisning elimineras. En kostnadsanalys (Berglund & Larsson, 2012) visar att systemet är okänsligt för vältstorlek och att det är bäst lämpat för kortare transportavstånd. Vid transport av GROT-flis från terminal används ofta flisbil som är en lastbil med två tippbara lastutrymmen med en total lastkapacitet på 35 - 38 ton. (Skogforsk, 2013)

Maskinsystemstariffer varierar men normalt sett har en lastbilshugg en fast kostnad på ca 120 kr per ton och en rörlig kostnad på ca 1,5 kr per tonkm (enheten tonkm används för att mäta transportarbete, och innebär transporterad distans (km) multiplicerad med transporterad massa (ton)). En stor leverantör levererar ca 3 TWh GROT-flis per säsong (Haapaniemi, 2011) och om denne leverantören har 80 km i medeltransportavstånd medför det en årskostnad för sönderdelning och transport på ca 300 miljoner kronor.

Transportplaneringen av GROT är mycket komplext då tillvaratagandet är dyrare än tillvaratagandet av rundvirke samtidigt som GROT är ett mindre värt sortiment vilket leder till lägre marginaler. Efterfrågan av GROT är dessutom säsonsberoende (Haapaniemi, 2011) med en tydlig topp under årets kalla månader vilket ytterligare försvårar transportplaneringen.



Figur 1. Illustrering av en GROT-välta samt olika maskiner för transport och sönderdelning. I bilderna visas: a. GROT-välta, b. GROT skotare, c. traktorhugg, d. lastväxlare, e. lastbilshugg och f. flisbil (Skogforsk[®], 2013).

Figure 1. Illustration of forest residue storage at roadside and different machine systems for transportation and chipping. In the images shown: a. forest residues in forest, b. forest residue forwarder, c. tractor-mounted chipper, d. switch-body container truck, e. truck-mounted chipper and f. wood chip trucks.

Transportplanering delas upp i tre planeringsnivåer: strategisk, taktisk och operativ. Strategisk planeringsnivå innefattar tidsperioder över år och längre och berör beslut som t.ex. upphandling av transportresurser. Taktisk planeringsnivå berör månader till kvartal och det viktigaste beslutet är destinerings av råvara. Destinering innebär planering av råvaruflöden i huvudsyfte att minimera den totala transportsträckan eller att maximera den ekonomiska vinsten (Carlsson & Rönnqvist, 1998; Shapiro, 2001). På taktisk planeringsnivå är det även möjligt att identifiera returflöden (möjlighet att transportera råvara, på tillbakavägen, till mottagare nära ursprungsdestinationen för att undvika körningar med tomma lass). Betonas bör att destinerings behandlar flöden (transporter av flera fordon) och inte enskilda fordons rutter. Operativ planeringsnivå innefattar däremot beslut avseende enskilda rutter för respektive fordon och täcker i normalfallet tidsperioder på maximalt en vecka. Huvudsyftet med ruttplaneringen är att reducera andelen tomkörning och för att maximera fordonsflottans kapacitetsutnyttjning (Haksever et al., 2000; Karanta et al., 2000).

I dagsläget sköts flödesplaneringen för GROT vanligen manuellt (Haapaniemi, 2011). För att göra detta på bästa sätt krävs att operatörerna fattar rätt beslut gällande från vilken geografi och till vilken mottagare flödena ska gå med hänsyn till tillgångar, leveransplaner, kostnader och intäkter. Exempelvis om ett bolag har sina tillgångar fördelade över 100 geografiska enheter (t.ex. församlingar, kommuner) och leveransplaner mot 10 värmeverk innebär det att 1000 potentiella transportflöden existerar. Antalet beslut avseende

volymfördelning i alla dessa transportflöden blir överskådligt stort och att hitta den optimala lösningen manuellt är i praktiken omöjligt. Problem av denna typ är dock möjliga att lösas matematiskt via optimering genom linjär programmering (Shapiro, 2001). Genom att skapa ett beslutsstöd för destinerings av GROT-flis från väggkant till industri är det möjligt att identifiera den kombinationen av flöden som genererar maximal vinst.

1.2 Tidigare studier avseende flödesplanering

När ett bolag idag leveransplanerar för bibränslesortiment görs vanligen först en prognos avseende egen tillgång. När de vet vad de kan leverera sluts avtal med värmeverk och leveransplaner skapas. Med avtalade leveransplaner planerar bolaget vanligen leveranser månadsvis för att slutligen genomföra leveranserna. Alla beslut fattas vanligen manuellt (Haapaniemi, 2011).

I följande analyser löses problem matematiskt genom optimering:

Vid Sveriges Lantbruksuniversitet skapades ett beslutsstöd (Eriksson & Björheden, 1989) i syfte att kostnadsminimera bibränsleflödet från råvarukälla till slutanvändare.

Beslutsstödet täcker ett år fördelat på sex perioder och problemet löses via linjär programmering. Fyra bibränslesortiment behandlas och terminallagring är möjligt.

Beslutsstödet ger förslag avseende nyttjandegrad av olika sönderdelningssystem och visar även optimala lagernivåer under året av respektive sortiment. Samma beslutsstöd används till ytterligare en studie (Björheden & Eriksson, 1990) där hänsyn även tas till energiförluster till följd av bibränslelagring. Studien visar att det, till följd av reducerade substratsförluster, är möjligt att utvinna 7 % mer energi ur samma råvara till följd av optimering.

Vid Lappeenranta University of Technology konstruerades i mitten på 90-talet en flerperiodsmodell (Lukka, 1994) i syfte att minimera de totala kostnaderna för flödesplanering och lagring av råvaror av olika klasser. Ur bibränslesynpunkt kan olika klasser representeras av olika fukthalter i GROT-flisen. Författaren anser att den största svårigheten är att uppnå tillräcklig precision i indata.

NETRA (Örtendahl, 2001) är ett beslutsstöd som utvecklades i ett examensarbete vid Sveriges Lantbruksuniversitet. Ursprungligen avsåg det destinerings av massaved men täcker nu även timmersortimenten. Beslutsstödet syftar till att maximera vinsten och tar hänsyn till betalning till skogsägare, pris från industrin, tillgång/efterfrågan samt transportkostnad. Studiens känslighetsanalys visar att vid längre optimeringshorisonter (tidsintervall för optimering) ges fler valmöjligheter för optimeringen och en högre vinst uppnås.

Bergdahl et al. (2003) analyserade genom linjär programmering delar av rundvirkesflödet i norra Sverige och kom även de fram till att längre optimeringshorisonter ger bättre optimeringsresultat. Studien betonar dock att matematiska modeller inte kan ta hänsyn till slumpmässiga variationer, ex skiftande vägbärighet eller kortsiktiga ändringar av transportkvoter, vilket leder till att förbättringspotentialer riskerar att överskattas. Studien visar dessutom att överskattningen ökar vid längre optimeringshorisonter.

Vid Linköpings Tekniska Universitet har ett beslutsstöd konstruerats (Gunnarsson et al., 2004) täckande bibränsledestinering, från skörd till försäljning till slutkund, över ett år uppdelat på månadsvisa perioder. Metoden är linjär programmering i syfte att minimera den totala kostnaden. Verktuget ger svar på lämpligaste destinerings av bibränsle och tar

även hänsyn till import, variation av efterfrågan över året samt flödet av restprodukter från träindustrier.

I Italien har en studie gjorts (Freppaz et al., 2004) som visar att det är möjligt att använda linjär programmering för att hitta optimala geografiska lägen för framtida kraftvärmeverk.

I Österrike konstruerades ett beslutsstöd (Ashton et al., 2009) täckande ett års försörjning av biobränsleflis med hänsyn till en förväntad, kraftigt ökad efterfrågan.

Transportavstånden mellan bilvägslager och industri struktureras i en avståndsmatrix, konstruerad i programmet ArcGIS. Kostnader samt tillgång/efterfrågan länkas till avståndsmatrisen och optimering sker genom linjär programmering så att flöden destinerar i syfte att minimera den totala kostnaden. Analysen estimerar att terminallagring ökar kostnaderna med upp till 26 %.

I Tennessee, USA gjordes en optimering (Zhu et al., 2011) i syfte att maximera användandet av Hirs (*Panicum virgatum*) som råvara vid bioraffinaderier. Studien visar att det går att planera effektivt för grödor med stor säsongsvariation genom att använda linjär programmering.

Skogforsk, som är den svenska skogsnäringens forskningsinstitut, har konstruerat ett flertal beslutsstöd täckande olika planeringshorisonter. FlowOpt (Forsberg et al., 2005) är ett beslutsstöd avseende flödesplanering av rundvirke. Vägslager och terminallager destinerar till lämpligaste industri i syfte att minimera den totala kostnaden. FlowOpt visar även möjlighet till virkesbyten mellan bolag. Skogforsk har utifrån FlowOpt även utvecklat FuelOpt (Flisberg et al., 2012) som genom linjär programmering destinerar biobränsleflöden i syfte att maximera vinsten. FuelOpt ger svar på vilka områden som är ekonomiskt sett mest lönsamma för biobränsleuttag, vilka kunder och maskinsystem som är mest lönsamma, om terminaler bör användas och i sådana fall i vilken utsträckning. FuelOpt behandlar en tidshorisont på ett år uppdelat på månadsvisa perioder. Kalkylering sker på hel och sönderdelad GROT och hänsyn tas till lagerkostnader. FuelOpt användes för en fallstudie mot Stora Enso Bioenergi AB och estimerade att vinsten där kan ökas upp till 21 % med hjälp av optimering.

På operativ nivå har Skogforsk skapat beslutsstödet RuttOpt (Andersson et al., 2007) som fattar beslut med en precision ner till enskilda avlägg och enskilda timmerbilars rutter. RuttOpt föreslår lämpliga rutter och returlaster i syfte att maximera fordonsflottans kapacitetsutnyttjning. Vid University of Joensuu i Finland har det skapats ett beslutsstöd (Palander et al., 2004) som behandlar enskilda biobränsletransporter i syfte att minimera andelen tomkörning.

I tillägg till nämnda analyser existerar i Finland beslutsstöd som har implementerats i stor skala under längre perioder. EPO (Linnainmaa et al., 1995) började utvecklas 1991 och användes därefter av dåvarande Enso-Gutzeit. Beslutsstödet behandlar rundvirke och täcker såväl flödesplanering som ruttplanering. Delar av forskargruppen som utvecklade EPO utvecklade senare beslutsstödet KUORMA (Savola et al., 2004). KUORMA har samma funktionalitet som EPO men klarar att lösa mer komplexa problem. Systemet implementerades av Stora Enso i Finland år 2002 och användes där för att planera transporter för en timmerbilsflotta bestående av ca 250 ekipage. Information avseende modellformulering för dessa system ges i Karanta et al. (2000). Även i Chile har beslutsstöd för planering av timmertransporter implementerats sedan länge (Weintraub et al., 1996). I Tabell 1 visas en överblickande sammanställning av nämnd litteratur.

Tabell 1. Överblickande litteratursammanställning avseende flödesplanering och ruttplanering
Table 1. An overview of studies regarding wood flow planning and vehicle routing

Analys	Målfunktion		Perioder		Sortiment		
	Kost.	Vinst	En	Flera	Rundvirke	Biobränsle	Annat
Författare, år (<i>mjukvara</i>)	Min.	Max.					
Eriksson, Björheden 1989	x			x		x	
Björheden, Eriksson 1990	x			x		x	
Lukka, 1994	x			x			x
Linnainmaa et al., 1995 (<i>EPO</i>)	x		x	x	x		
Weintraub et al., 1996 (<i>ASICAM</i>)	x		x	x	x		
Örtendahl, 2001 (<i>NETRA</i>)		x	x		x		
Bergdahl et al., 2003	x	x	x		x		
Savola et al., 2004 (<i>KUORMA</i>)	x		x	x	x		
Gunnarsson et al., 2004	x			x		x	
Freppaz et al., 2004		x	x			x	
Palander et al., 2004	x		x			x	
Forsberg et al., 2005 (<i>FlowOpt</i>)	x			x	x		
Andersson et al., 2007 (<i>RuttOpt</i>)	x		x		x		
Ashton et al., 2009	x		x			x	
Zhu et al., 2011	x			x		x	
Flisberg et al., 2012 (<i>FuelOpt</i>)		x		x		x	

Nämnda beslutsstöd är funktionella men majoriteten kräver specialkompetens för att kunna manövreras. FuelOpt behandlar biobränsle och är det beslutsstöd som täcker flest parametrar men är komplicerat och kan endast manövreras av forskargruppen som skapade det. Optimeringen sker över flera perioder och kräver detaljerat indata. NETRA däremot är ett användarvänligt beslutsstöd som är konstruerat för att kunna hanteras av den enskilde användaren. Det är en enperiodsoptimering som endast täcker destinerings av rundvirkes Sortimenten. Det som saknas i dagsläget är ett användarvänligt enperiodsbeslutsstöd för destinerings av biobränsle och ambitionen med detta projekt är att skapa ett sådant.

1.3 Uppdragsgivare

Uppdragsgivare för projektet är AB Karl Hedin som är en sågverkskoncern med huvudsakligt verksamhetsområde i bergslagsregionen. AB Karl Hedin har fyra sågverk varav tre är lokaliserade i Sverige och ett i Estland. Den totala omsättningen 2011 var ca tre miljarder kronor och antalet anställda var 825 personer. De är specialiserade på att förädla råvara till färdig produkt som därefter till viss del säljs i någon av deras 30 egna byggmaterialhandlar. De sverigebaserade sågverken förbrukar strax under en miljon m³ fub timmer per år. Anskaffningen av råvara sker till 50 % genom fältköp, 40 % genom råvarubyten med andra bolag och 10 % genom köp från mindre leverantörer. (Holm 2012, pers. komm.)

Råvaruorganisationen inom AB Karl Hedin genomförde nyligen en större omorganisation, där de tog över 25 % av Weda Skog AB och fick sin nuvarande form först vid årsskiftet till 2011. AB Karl Hedins fältköpsorganisation är uppdelad på 5 olika geografiska områden och inom varje område verkar ett inköpsteam bestående av 3 till 5 virkesköpare. Utöver detta finns även ett ansvarsområde som innefattar egen skog. Omorganisationen berörde

även biobränsledelen där en del av Sågbränslen AB tillkom AB Karl Hedin. Biobränsledelen i AB Karl Hedin omfattar samma geografiska område som fältköpsdelen men är uppdelad på två områden. I varje område ansvarar en produktionsledare.

AB Karl Hedins verksamhetsområde ligger i södra delen av det boreala barrskogsbältet där markerna är genomgående bördiga och väl lämpade för GROT-uttag. Bolaget har leveransavtal, avseende GROT-flis, tecknade med ett tiotal värmeverk och det finns därför ett behov av ett lätthanterbart beslutsstöd för destineringsav sortimentet. Beslutsstödet bör vara tidsmässigt dynamiskt, vilket innebär att det ska vara möjligt att ändra optimeringshorisont genom att mata in tillgång och efterfrågan för önskad tidsperiod. Vid flödesplanering ska beslutsstödet kunna användas för att visa vilka energimängder som bör köras från respektive församlingar till respektive mottagare. Beslutsstödet ska även kunna användas för att skapa ett förhandlingsstöd, inför leveransplansförhandling, som visar hur stora energimängder som är optimalt att leverera till respektive mottagare under rådande förutsättningar. AB Karl Hedins huvudmotiv med projektet är att öka vinsten vid handel med sortimentet GROT-flis.

1.4 Syfte

Projektets syfte är att utveckla ett användarvänligt beslutsstöd för destineringsav GROT-flis. Beslutsstödet ska underlätta beslut avseende maskinsystemval baserat på transportavstånd och transportdestinationer med hänsyn till prisavtal. Projektet består av två delsyften:

- Skapa ett beslutsstöd för destineringsav GROT-flis i syfte att maximera den totala vinsten.
- Kvantifiera den ekonomiska förbättringspotentialen i ett optimerat flöde jämfört med ett verkligt flöde.

Projektet avgränsas av AB Karl Hedins verksamhetsområde och behandlar endast sortimentet GROT-flis. Projektet berör flödesplanering samt generering av stödjande underlag inför avtalsförhandling.

2. Material och metod

Inledningsvis genomfördes ett tre dagars studiebesök vid AB Karl Hedins huvudkontor i Krylbo i syfte att överblicka bolagets struktur samt att uppnå en förståelse för arbetssätt såväl i fält som vid industri. Därefter fördes en diskussion för att specificera syfte och begränsningar med projektet. Det bestämdes då att beslutsstödet endast skulle inkludera sortimentet GROT-flis. Beslutsstödet optimeringsutfall skulle jämföras mot en historisk periods flöde för kvantifiering av förbättringspotential.

2.1 Beslutsstödet modellformulering

Optimeringsmodellen syftar till att destinerat optimalt antal MWh GROT-flis (x) från tillgångsnod (i) till efterfrågenod (j) i syfte att maximera den totala vinsten. Till varje GROT-flisflöde (x_{ij}) kopplas en intäktsparameter (II_j) samt 5 kostnadsparametrar (RK_i , ST_i , TL_{ij} , STL_{ij} , TF_{ij}). Kopplade till dessa parametrar finns dessutom binära parametrar (a_j , b_i , c_i , d_{ij} , e_{ij} , f_{ij}) som anger huruvida intäkt- och kostnadsparametrarna ska inkluderas i respektive flöden. Modellens restriktioner gör att leveranser inte kan överstiga tillgång (T_i) samt att varje mottagares inleveranser sker efter efterfrågan (E_j). Det är dock möjligt att tillåta avvikelser från varje mottagares leveransplan (beställd energimängd) genom att ange ett procentuellt intervall för tillåten underleverans (LP_j^{min}) respektive överleverans (LP_j^{max}). Optimeringen räknar intäkt minus kostnad för alla potentiella flöden och väljer slutligen flödeskombinationen med högst totalt värde förutsatt att alla restriktioner är uppfyllda. Den matematiska formuleringen utgör ett linjärt programmeringsproblem och löses som ett sådant. Gränssnittet för den matematiska problemformuleringen följer metodiken beskriven i Carlsson och Rönnqvist (1998) avseende ett taktiskt flödesproblem utan returerna. I liknande problemformuleringar finns normalt jämnhetsrestriktioner i syfte att skapa balans mellan terminalers inflöde och utflöde. Dessa restriktioner utlämnades i denna modell då terminalerna existerar både som tillgångsnoder och som efterfrågenoder vilket innebär att de som tillgångsnoder har specifika tillgångsrestriktioner kopplade till sig och som efterfrågenoder specifika efterfrågerestriktioner kopplade till sig. Detta gör att råvaruflödet till och från terminaler styrs av befintliga restriktioner. Den matematiska modellen har då följande formulering:

$$\text{Max} \sum_{i=1}^{196} \sum_{j=1}^{16} x_{ij} (II_j a_j - RK_i b_i - ST_i c_i - TL_{ij} d_{ij} - STL_{ij} e_{ij} - TF_{ij} f_{ij})$$

$$\sum_{j=1}^{16} x_{ij} \leq T_i \quad i = 1, \dots, 196$$

$$\sum_{i=1}^{196} x_{ij} \geq E_j - (E_j * LP_j^{min}) \quad j = 1, \dots, 16$$

$$\sum_{i=1}^{196} x_{ij} \leq E_j + (E_j * LP_j^{max}) \quad j = 1, \dots, 16$$

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

där

Index:

$i =$ Tillgångsnoder: Församlingar (194) och terminaler (2)

$j =$ Efterfrågenoder: Värmeverk (14) och terminaler (2)

Modellparametrar:

Beslutsvariabel:

$x_{ij} =$ Flöde av GROT-flis från tillgångsnod i till efterfrågenod j

Konstanter:

$T_i =$ Råvarutillgång vid tillgångsnod i

$E_j =$ Efterfrågan vid efterfrågenod j

$LP_j^{min} =$ Tillåten underleverans, jämfört mot leveransplan, vid efterfrågenod j

$LP_j^{max} =$ Tillåten överleverans, jämfört mot leveransplan, vid efterfrågenod j

$II_j =$ Intäkt vid efterfrågenod j

$RK_i =$ Råvarukostnad inklusive skotning vid tillgångsnod i

$ST_i =$ Sönderdelningskostnad vid användning av traktorhugg vid tillgångsnod i

$TL_{ij} =$ Transportkostnad vid användning av lastväxlare från tillgångsnod i till efterfrågenod j

$STL_{ij} =$ Sönderdelningskostnad vid tillgångsnod i samt transportkostnad från tillgångsnod i till efterfrågenod j vid användning av lastbilshugg.

$TF_{ij} =$ Transportkostnad vid användning av flisbil från tillgångsnod i till efterfrågenod j

Binära parametrar styrande vilka intäkter och kostnader som är kopplade till respektive flöde:

$a_j =$ $(1, 0)$ Om intäkt 1, ej intäkt 0 (0 vid transport till terminal)

$b_i =$ $(1, 0)$ Om råvarukostnad 1, ej råvarukostnad 0 (0 vid transport från terminal)

$c_i =$ $(1, 0)$ Om traktorhugg används 1, ej traktorhugg 0

$d_{ij} =$ $(1, 0)$ Om lastväxlare används 1, ej lastväxlare 0

$e_{ij} =$ $(1, 0)$ Om lastbilshugg används 1, ej lastbilshugg 0

$f_{ij} =$ $(1, 0)$ Om flisbil används 1, ej flisbil 0

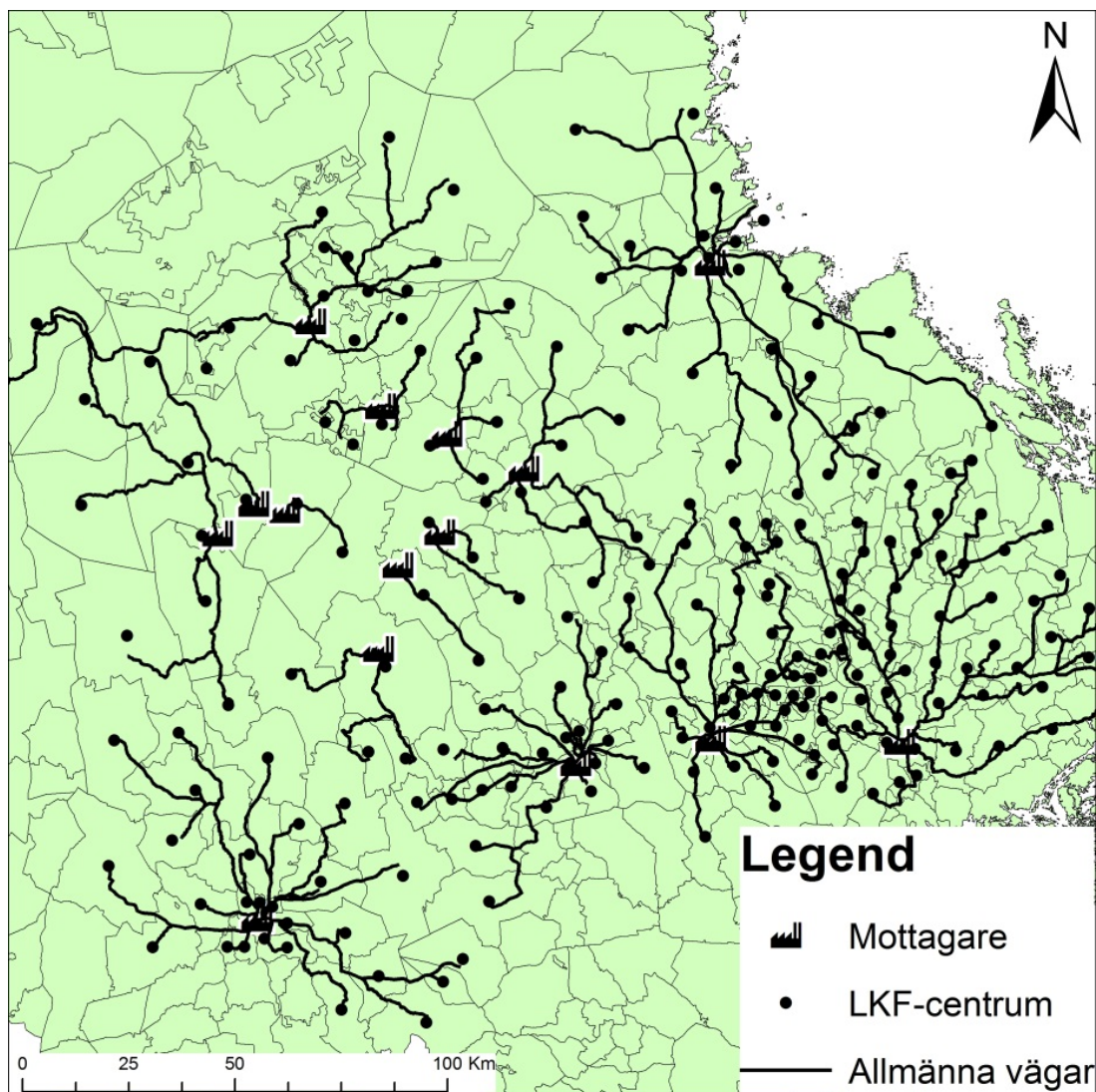
Modellparametrarna angavs i följande enheter: flöden och efterfrågan i MWh, intäkt i kr/MWh, tillgång i m³s, råvarukostnad i kr/m³s, leveransplansavsteg i % och tariffer för transport och sönderdelning i kr/ton samt kr/tonkm. Att modellparametrarna gavs olika enheter berodde på att det skulle vara lätt att mata in data i sin befintliga form till beslutsstödet men det medförde att det fanns ett behov av ett verktyg för enhetskonvertering. För att få verktyget för enhetskonverteringen så exakt som möjligt utsöktes, i SDC (SDC, 2013a), bolagets totala flöde av GROT-flis under 2011 och utifrån utsökningen skapades en konverterare baserat på ett års medelvärden. Konverteraren byggdes in i BioMax så att alla enheter slutligen automatiskt konverteras till MWh som är mottagarnas handelsenhet avseende biobränslen.

Majoriteten av databehandlingen genomfördes i Microsoft Excel men alla uträkningar i det färdiga beslutsstödet är dolda bakom kommandoknappar (Bilaga 1 - 4).

Programmeringsspråket som användes vid skapandet av mjukvaran var Visual Basic. Optimeringssteget genomfördes i optimeringslösaren Premium Solver Platform. Data sorterades och exporterades, genom Visual Basic, från Excel till programmet ArcGIS 10.1 i vilket flödeskartan (Bilaga 5) autogenererades via en sekvens av verktyg. Kartor avseende upptagningsområden skapades i samma program men genom verktyget select by polygon.

2.2 Skapande av avståndsmatris

Inledningsvis utsöktes alla församlingar i AB Karl Hedins verksamhetsområde som geografiska ytor i programmet ArcGIS (Figur 2). Dessa församlingar användes som aggregeringsenheter för råvara och i varje församling genererades en geografisk mittpunkt. Mittpunkterna representerade platsen av en genomsnittligt placerad GROT-välta och användes som utgångspunkter vid utsökning av transportavstånd. GPS-koordinater för värmeverk och terminaler, som AB Karl Hedin levererar GROT-flis till, hämtades via SDC och placerades därefter som ett kartlager i ArcGIS. Församlingscentrum representerade tillgångsnoder och värmeverk representerade efterfrågenoder. Terminaler registrerades både som tillgångsnoder och efterfrågenoder. Baserat på ett kartlager över det allmänna vägnätet genererades ett Network Dataset, vilket är nödvändigt för att utsöka multipla avstånd mellan koordinater i ArcGIS. ArcGIS programmet Network Analysis verktyg OD Cost Matrix användes därefter för att länka ihop tillgångsnoderna med efterfrågenoderna via Network Datasetet och därigenom genererades en tabell över alla potentiella transportavstånd. Med hjälp av Excels funktion för pivottabeller strukturerades tabellen om till en avståndsmatris täckande totalt 3134 transportavstånd. Att 196 tillgångsnoder och 16 efterfrågenoder inte genererade 3136 transportavstånd berodde på att två transportavstånd ej existerade då de båda terminalerna fungerade både som tillgångs- och efterfrågenoder. Avstånden motsvarade avstånd baserade på Skoglig Nationell Vägdata - SNVDB (Frisk, 2012, pers. komm.; SDC, 2013b). Vid verkliga faktureringar framräknas betalningsgrundande transportavstånd i SNVDB genom motståndslagret Krönt Vägval (Flisberg et al., 2009). Detta kartlager beräknar effektivaste vägval snarare än kortaste vägval vilket innebär att ex. vis vägar av sämre klass och stadskörning undviks vilket kan generera något längre transporter som däremot är mer ekonomiska och miljövänliga. I denna analys togs ingen hänsyn till Krönt Vägval då kortast möjliga transportavstånd utsöktes direkt via allmänna vägnätet.



Figur 2. AB Karl Hedins verksamhetsområde med visualiserad vägsträckning från varje församlingscentrum (LKF) till närmaste mottagare.

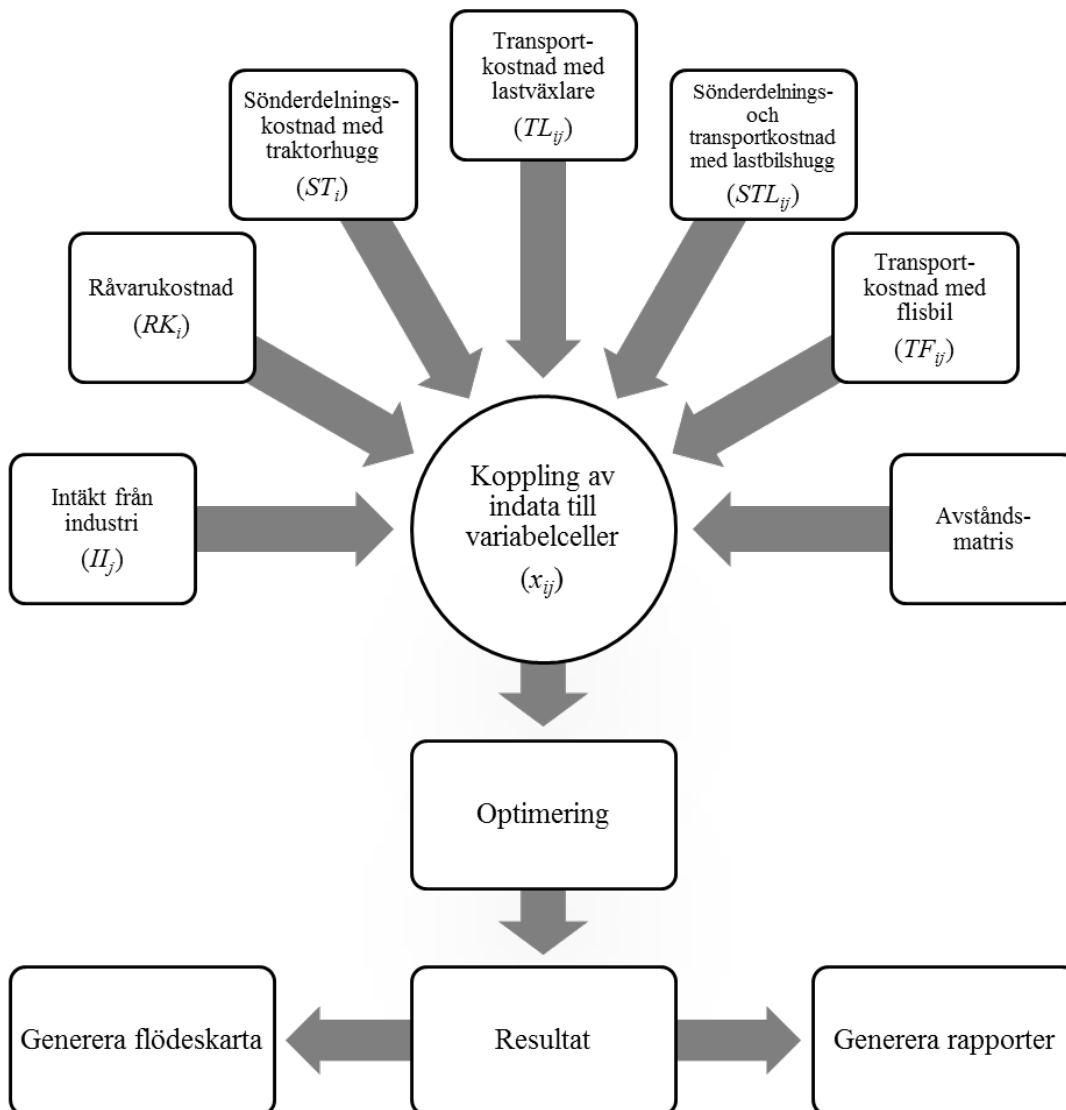
Figure 2. AB Karl Hedin's operational area with transport paths visualized from each parish center (LKF) to the nearest receiver.

2.3 Beräkningssteg vid modelltillämpning

I ett optimeringssteg innan huvudoptimeringen utsöktes, efter lägsta kostnad, lämpligaste maskinsystem för alla potentiella flöden (tillgångsnod till efterfrågenod). Valet gjordes mellan kombinationen traktorhugg/lastväxlare och lastbilshugg. Baserat på tariffer uträknades vad kostnaden (kr/MWh) var för flisning och transport för de båda maskinsystemen vid olika transportavstånd. Med hjälp av räta linjens ekvation utsöktes därefter vid vilket transportavstånd brytpunkten låg och därmed identifierades vart gränsen gick från vilken det ena maskinsystemet var billigare än det andra. Med detta som utgångspunkt valde beslutsstödet alltid det billigaste maskinsystemet till respektive flöde i huvudoptimeringen.

Huvudoptimeringens uppställning följde strukturen i en ekonomisk resultaträkning vilket visualiseras i en flödeskarta (Figur 3) över beräkningstegen i BioMax. I flödeskartan representerar sex av indatarutorna de modellparametrar som är kopplade till intäkter och kostnader. Dessa enheter konverteras i indatarutorna till kr/MWh och räknades därefter

samman per flöde. Avståndsmatrisen fanns även representerad för att möjliggöra uträkning av transportkostnader.



Figur 3. Flödeskarta över BioMax:s beräkningssteg.

Figure 3. Flowchart over the calculation steps in the BioMax.

Beskrivning av huvudprocesserna i BioMax beräkningssteg:

Koppling av indata till variabelceller – Indataenheten (kr/MWh) multiplicerades med variabelcellerna (antal MWh) för att generera ett ekonomiskt netto per flöde.

Optimering – Genom att optimera beslutsvariablernas värden utsöker modellen hur många MWh GROT-flis som är optimalt att transportera från respektive församling till respektive mottagare i syfte att maximera den totala vinsten (flödesnettona summerade).

Resultat – Beslutsstödet genererar en flödeskarta (Bilaga 5) över optimeringens föreslagna destinerings (fördelat på maskinsystem och flödesstorlekar) samt följande rapporter:

- Flöden (MWh): totala inleveranser, inleveranser per mottagare och leveranser från församling (Bilaga 6).
- Ekonomisk vinst (kr): total vinst, vinst per mottagare och per församling (Bilaga 7).
- Täckningsbidrag (kr/MWh): varje enhets särintäkter minus särkostnader. Redovisas per flöde (Bilaga 8).
- Transportarbete (ton*km): totalt, per flöde, och per transportslag. Rapporten visar även föreslaget transportslag för respektive flöde samt viktvägt medeltransportavstånd totalt och per transportslag. (Bilaga 9).
- Energieffektivitet (kWh/MWh): energiförbrukning (kWh) i form av diesel som krävs för att sönderdela och transportera in en MWh GROT-flis. Redovisas totalt, per flöde samt ett medel av flödesvärdena (Bilaga 10).

Ett viktvägt medeltransportavstånd är ett avstånd som påverkas dels av råvaruflödens sträckning (km) och dels av råvarumängd (ton) som transporteras längs det. Det innebär att stora flöden påverkar värdet mer än små.

2.4 Analys av fallstudie

För att kvantifiera beslutsstödet ekonomiska förbättringspotential genomfördes körningar med data från det verkliga GROT-flisflödet under biobränslesäsongen 11/12 (september 2011 - maj 2012). Historiska data hämtades från SDC och endast energimängder transporterade under perioden destinerades i optimeringarna för att säkerställa att endast tillgängliga energimängder behandlades. Testkörningarna genomfördes i form av en fallstudie indelad i två scenarier:

Scenario 1 - Optimering genomfördes med historisk, identisk tillgång och efterfrågan från testperioden. Beslutsstödet gavs således utrymme att styra destinerings och maskinsystemval medan respektive mottagares inlevererade energimängd hölls konstant.

Scenario 2 - Optimering genomfördes med historisk, identisk tillgång från testperioden. Avseende efterfrågan tilläts en avvikelser på maximalt 10 % ($LP_j^{min} = 10\%$, $LP_j^{max} = 10\%$) från varje mottagares verkliga inlevererade energimängder. Beslutsstödet gavs således dessutom utrymme att till viss del omfördela energimängder mellan mottagare.

I båda scenarierna genomfördes optimeringar i tre olika aggregeringsnivåer i syfte att undersöka effekter av optimeringshorisontens längd:

- Månadsvis optimering: nio optimeringar med en månads optimeringshorisont.
- Kvartalsvis optimering: tre optimeringar (sep till nov, dec till feb, mar till maj) med tre månaders optimeringshorisont.
- Säsongsvis optimering: en optimering med nio månaders optimeringshorisont.

2.5 Känslighetsanalys av traktorhugg/lastväxlares tariffer

En känslighetsanalys genomfördes i syfte att analysera vilken optimeringseffekt en relativ kostnadsförändring av traktorhugg/lastväxlares tariffer har på systemval och på total vinst. Traktorhugg/lastväxlares tariffer justerades stegvis i sex intervaller om 10 % (- 30 % till + 30 %) medan lastbilhuggens tariff hela tiden hölls konstant på ursprungspriset. I syfte att kvantifiera systemvalets påverkan på den totala vinsten genomfördes även optimeringar där endast ett maskinsystem åt gången tilläts. Förutsättningarna från Scenario 1 och kvartalsvis optimeringshorisont användes.

3. Resultat

3.1 Kartläggning av testperiodens historiska GROT-flis flöde

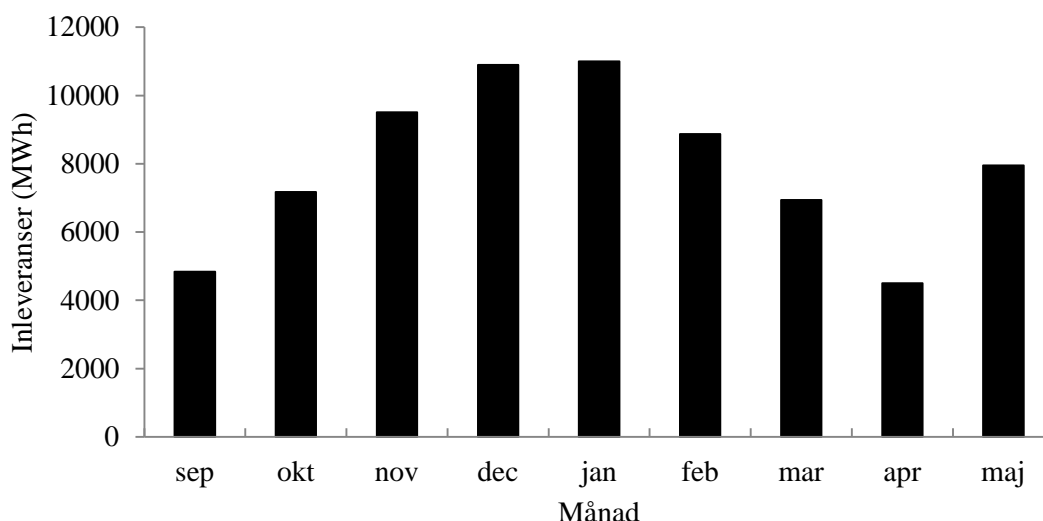
87 % av AB Karl Hedins totala GROT-flis flöde, motsvarande 72 GWh, kartlades i studien. Resterande 13 % av flödet var från tidigare Weda-trakter som låg utanför det normala verksamhetsområdet. Vid rådande prislistor var det ekonomiskt fördelaktigt att använda lastbilshugg upp till ett transportavstånd på 131 km och vid längre avstånd var traktorhugg/lastväxlare det billigare alternativet. Grunddata från biobränslesäsongen 11/12 sammanställs i Tabell 2.

Tabell 2. Data från testperioden september 2011 till maj 2012

Table 2. Key data for the test period from September 2011 to May 2012

Testperiodens grunddata	Verkligt
Tillgångsnoder	196 st.
Efterfrågenoder	16 st.
Kartlagd energimängd (MWh)	71 693
Medelvältans storlek (m ³ s)	485
Sönderdelning traktorhugg/lastväxlare	68 %
Sönderdelning lastbilshugg	32 %
Transportarbete totalt (ton*km)	1 328 495
Transportavstånd medel (km)	52,3 (min 3,3; max 168,9)
Transportandel traktorhugg/lastväxlare	72 %
Transportandel lastbilshugg	26 %
Transportandel flisbil	2 %

Figur 4 visar hur efterfrågan varierade under biobränslesäsongen 11/12 med störst inlevererade energimängder under vintermånaderna.

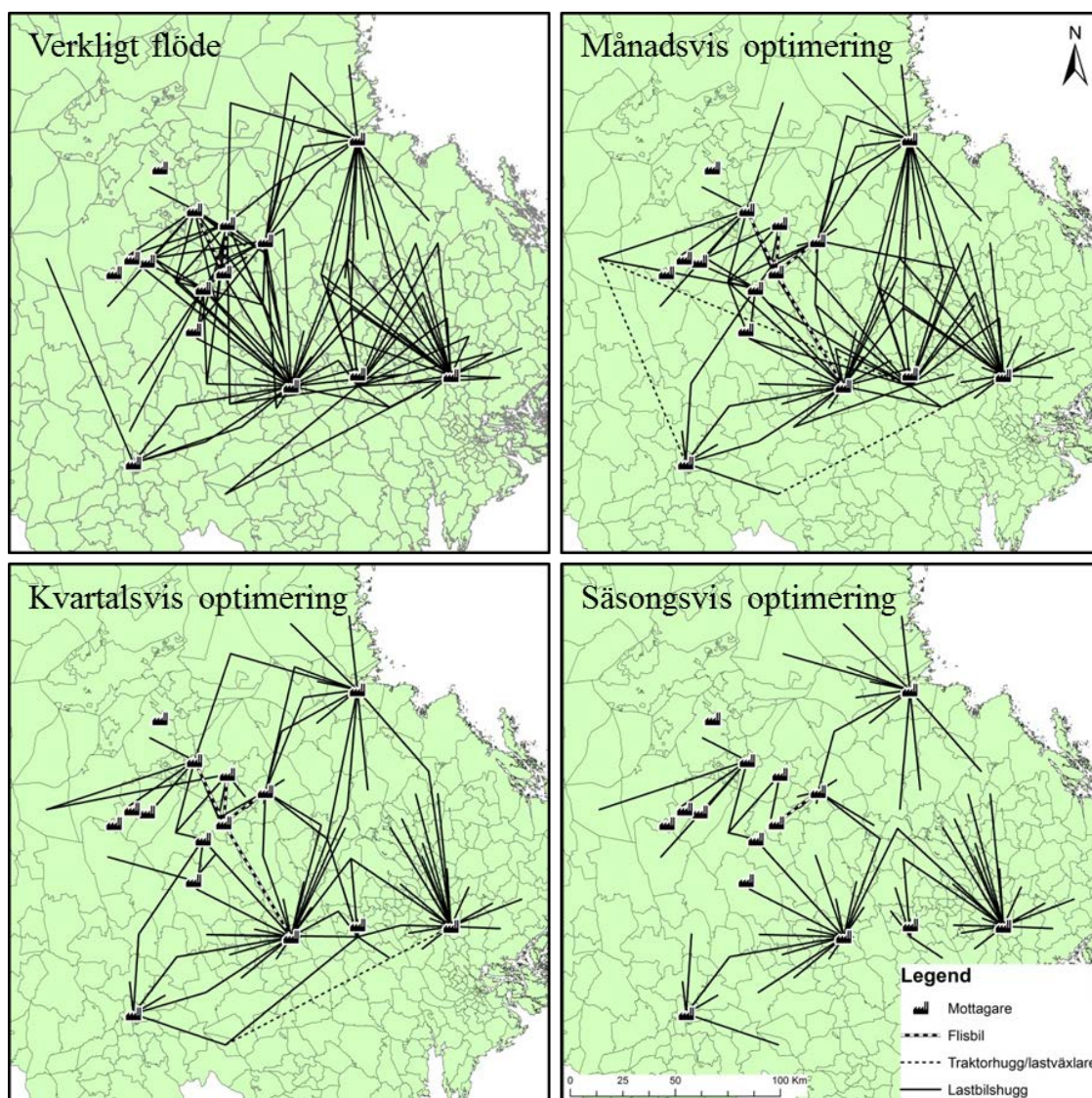


Figur 4. De månadsvisa inleveranserna av GROT-flis under perioden september 2011 till maj 2012.

Figure 4. The monthly deliveries of forest residue chips during the period of September 2011 to May 2012.

3.2 Scenario 1

Det totala transportarbetet under testperioden uppgick till 1 328 495 tonkm. Med kvartalsvis optimering sänktes transportarbetet till 1 008 176 tonkm vilket motsvarar en sänkning av det viktvägda medeltransportavståndet från 52,3 km till 39,7 km. Den genomsnittliga estimerade höjningen av vinsten vid optimerade flöden var 7 % och längre optimeringshorisonter genererade genomgående högre förbättringspotential. Enligt Figur 5 var andelen korsflöden, dvs. flöden som överlappar varandra, lägre vid längre optimeringshorisonter. Vid säsongsvis optimering, som endast bestod av en optimering, genererades inga korsflöden. Lastbilshugg var det mest frekvent föreslagna maskinsystemet vid alla optimeringshorisonter och vid säsongsvis optimering föreslogs systemet genomgående. Flödet med flisbil från terminal till industri omdestinerades helt vid säsongsvis optimeringshorisont jämfört med det verkliga flödet.



Figur 5. Kartor visande hur GROT-flis flöden förändras, vid olika optimeringshorisonter, under Scenario 1. Notera att i det verkliga flödet visualiseras ej vilka flöden som genomfördes med traktorhugg/lastväxlare respektive lastbilshugg.

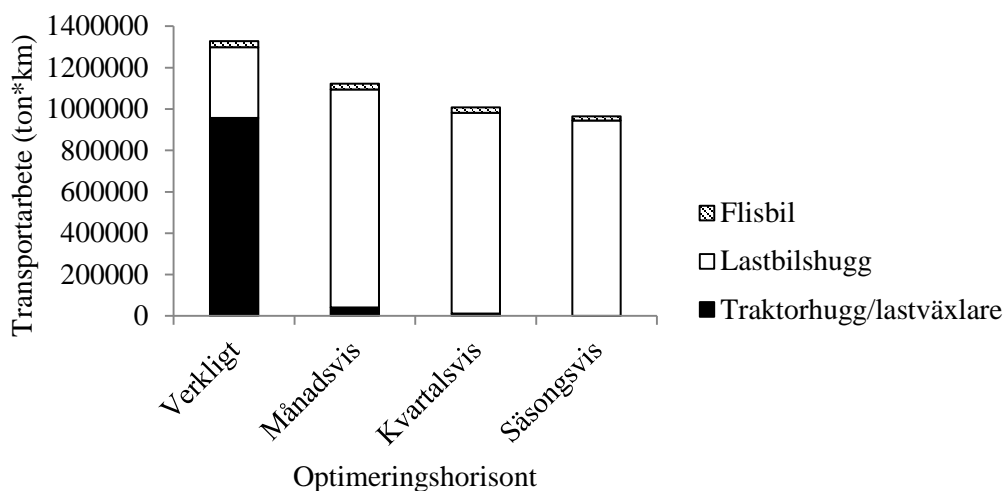
Figure 5. Maps showing how forest residues flows changed between different optimization horizons in Scenario 1. Note that there is no distinction shown between forwarder-mounted chipper/switch-body container truck flows and the truck-mounted chipper flows for the actual flow.

Enligt Tabell 3 var den beräknade vinsten vid optimering 4,9 till 8,5 % högre än verklig vinst. Vid kvartalsvis optimering var vinsten 2,6 procentenheter högre än vid månadsvis optimering och när optimeringshorisonten förlängdes till säsongsvis höjdes förbättringspotentialen med ytterligare en procentenhet. Transportarbetet reducerades i medel med 22,3 %. Energieffektiviteten korrelerade direkt till transportarbetet då den flisade energimängden var konstant. I testperioden stod traktorhugg/lastväxlare för 68 % av den flisade energimängden och lastbilshugg för 32 %. I optimeringarna i Scenario 1 föreslogs traktorhugg/lastväxlare för maximalt en procent av flisningen.

Tabell 3. Förbättringspotential vid Scenario 1 jämfört med testperiodens historiska flöde
Table 3. The potential for improvement in Scenario 1 compared to the historical flow in the testperiod

Relativ förbättring	Optimeringshorisont		
	Månad %	Kvartal %	Säsong %
Vinstökning	4,9	7,5	8,5
Reducering av transportarbete	- 15,5	- 24,1	- 27,4
Flisningsandel traktorhugg/lastväxlare	1,0	0,3	0,0
Flisningsandel lastbilshugg	99,0	99,7	100,0

Fördelningen av transportarbete framgår i Figur 6. Testperiodens verkliga fördelning av transportarbete var: traktorhugg/lastväxlare 72 %, lastbilshugg 26 % och flisbil 2 %. Vid månadsvis optimering föreslogs 3 % traktorhugg/lastväxlare, vid kvartalsvis 1 % och vid optimering över en säsong var inget flöde optimalt för traktorhugg/lastväxlare. Transportarbetet för flisbil, vid transport från terminal till värmeverk, varierade med 47 % mellan optimeringshorisonterna.

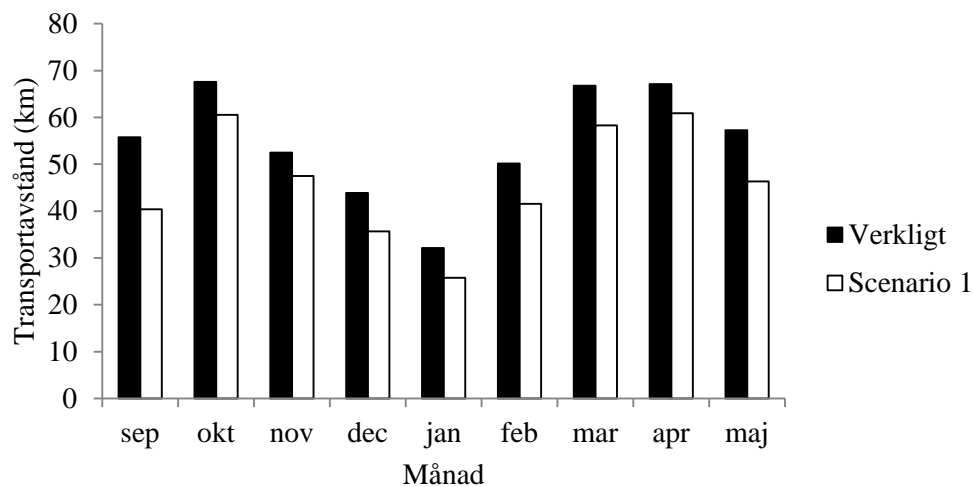


Figur 6. Den verkliga transportarbetsfördelningen i jämförelse med utfallen från de tre optimeringarna i Scenario 1.

Figure 6. A comparison of transport work between reality and the three optimization outcomes in Scenario 1.

Figur 7 visar att medeltransportavståndet varierade kraftigt under säsongen med längre transporter under våren och hösten och kortare transporter under vintern. Det fanns ett samband mellan högre inlevererad energimängd och kortare medeltransportavstånd med en

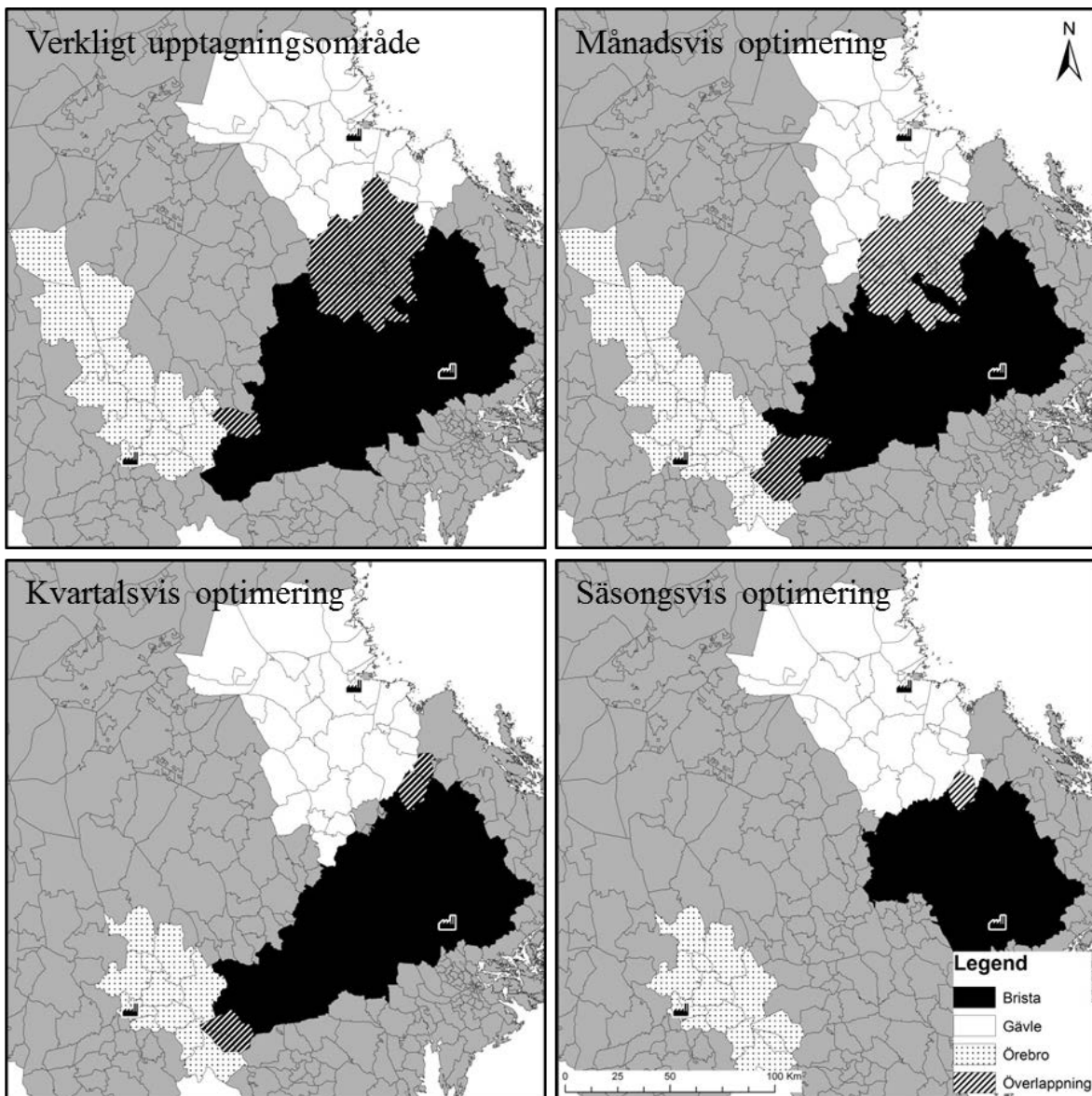
korrelation på 0,62 ($p < 0,001$). September månad hade högst förbättringspotential vid optimering.



Figur 7. Månadsvis jämförelse av det verkliga och det i Scenario 1 optimerade, viktvägda medeltransportavståndet under biobränslesäsongen 11/12.

Figure 7. Monthly comparison of the real and optimized average transport distance in Scenario 1 for biofuel season 11/12.

I Figur 8 visualiseras hur upptagningsområdena förändras vid olika optimeringshorisonter för de tre mottagare som geografiskt sett ligger längst ifrån varandra. Vid längre optimeringshorisonter blev respektive mottagares upptagningsområde mindre. Detta medförde att upptagningsområdena separerades gradvis i takt med längre optimeringshorisont för att vid säsongsvis optimering vara maximalt separerade.

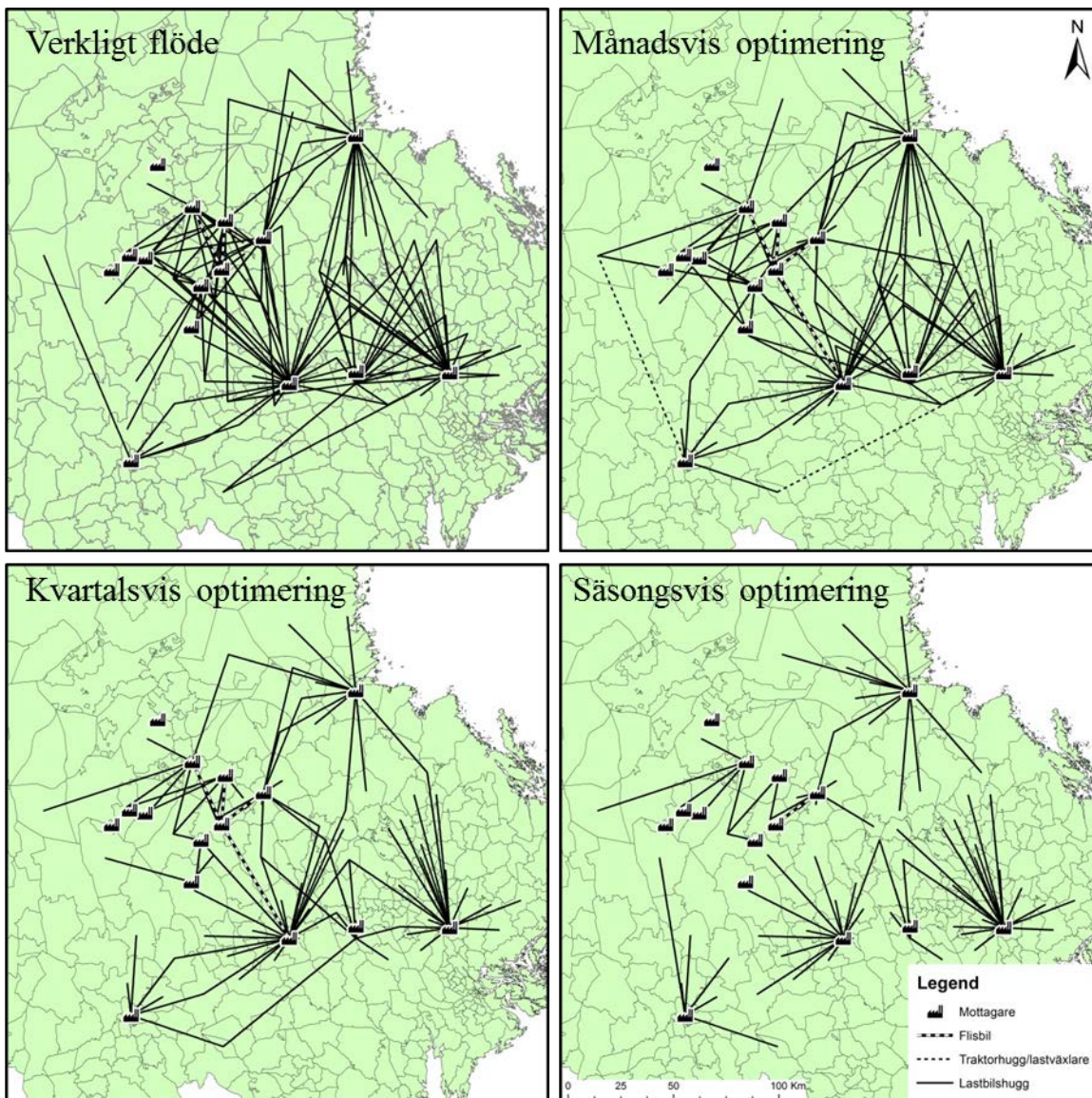


Figur 8. Kartor visande hur tre mottagares upptagningsområde förändras, vid olika optimeringshorisonter, under Scenario 1.

Figure 8. Maps showing how the catchment areas change for three receivers between different optimization horizons in Scenario 1.

3.3 Scenario 2

Grunddatat för Scenario 2 var samma som för Scenario 1 men med ett tillåtet avsteg på maximalt + / -10 % från respektive mottagares inlevererade energimängder. Den totala inlevererade energimängden var dock identisk med den i Scenario 1. Optimeringens friare restriktioner, som det möjliga avsteget från inlevererad energimängd medförde, gav vid kvartalsvis optimering en potentiell vinstökning på 8,4 % jämfört med testperiodens vinst. Med kvartalsvis optimering sänktes transportarbetet till 982 295 tonkm vilket motsvarar en sänkning av det viktvägda medeltransportavståndet från 52,3 km till 38,7 km. Figur 9 visar att antalet församlingar från vilka det levererades till flera mottagare minskade med längre optimeringshorisonter och att alla korsflöden är borta vid säsongsvis optimering.



Figur 9. Kartor visande hur GROT-flis flöden förändras, vid olika optimeringshorisonter, under Scenario 2. Notera att i det verkliga flödet visualiseras ej vilka flöden som genomfördes med traktorhugg/lastväxlare respektive lastbilshugg.

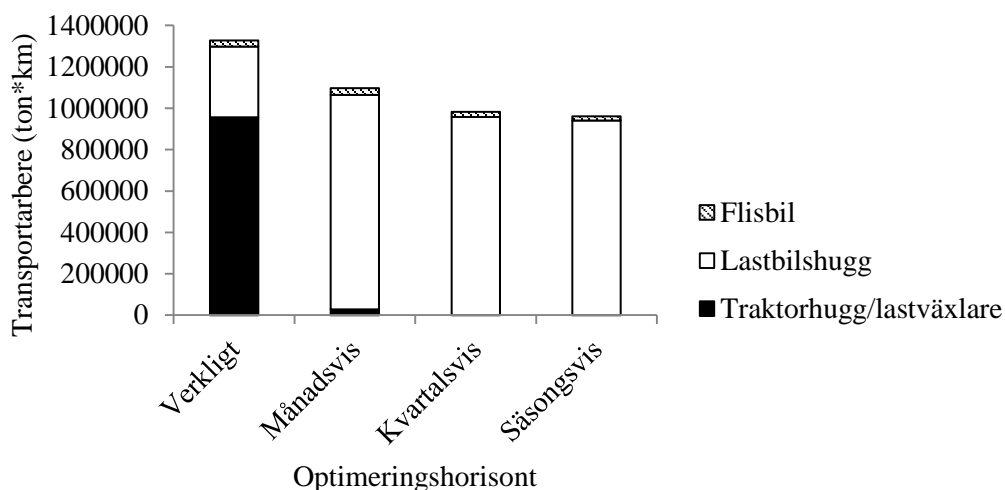
Figure 9. Maps showing how forest residues flows change between in different optimization horizons in Scenario 2. Note that there is no distinction shown between forwarder-mounted chipper/switch-body container truck flow and the truck-mounted chipper flow for the actual flow.

Tabell 4 visar den potentiella vinstökningen vid de tre optimeringshorisonterna under Scenario 2 som i genomsnitt var 7,8 %. Transportarbetet reducerades mellan 17,3 och 27,6 %. Traktorhugg/lastväxlare föreslogs som maskinsystem för 0,7 % av den flisade energimängden vid månadsvis optimering och vid längre optimeringshorisonter föreslogs endast lastbilshugg.

Tabell 4. Förbättringspotential vid Scenario 2 jämfört med testperiodens historiska flöde
Table 4. The potential for improvement in Scenario 2 compared to the historical flow in the testperiod

Relativ förbättring	Optimeringshorisont		
	Månad	Kvartal	Säsong
	%	%	%
Vinstökning	5,8	8,4	9,2
Reducering av transportarbete	- 17,3	- 26,1	- 27,6
Flisningsandel traktorhugg/lastväxlare	0,7	0,0	0,0
Flisningsandel lastbilshugg	99,3	100,0	100,0

Figur 10 visualiserar fördelningen av transportarbete i Scenario 2. Lastbilshugg var även i Scenario 2 det mest frekvent föreslagna maskinsystemet. Flisbilens transportarbete höjdes vid månadsvis optimering jämfört med i testperioden men vid säsongsvis optimering destinerades flisbilens identiskt med Scenario 1. Traktorhugg/lastväxlare valdes helt bort vid kvartalsvis och säsongsvis optimering.



Figur 10. Den verkliga transportarbetsfördelningen i jämförelse med utfallen från de tre optimeringarna i Scenario 2.

Figure 10. A comparison of transport work between reality and the three optimization outcomes in Scenario 2.

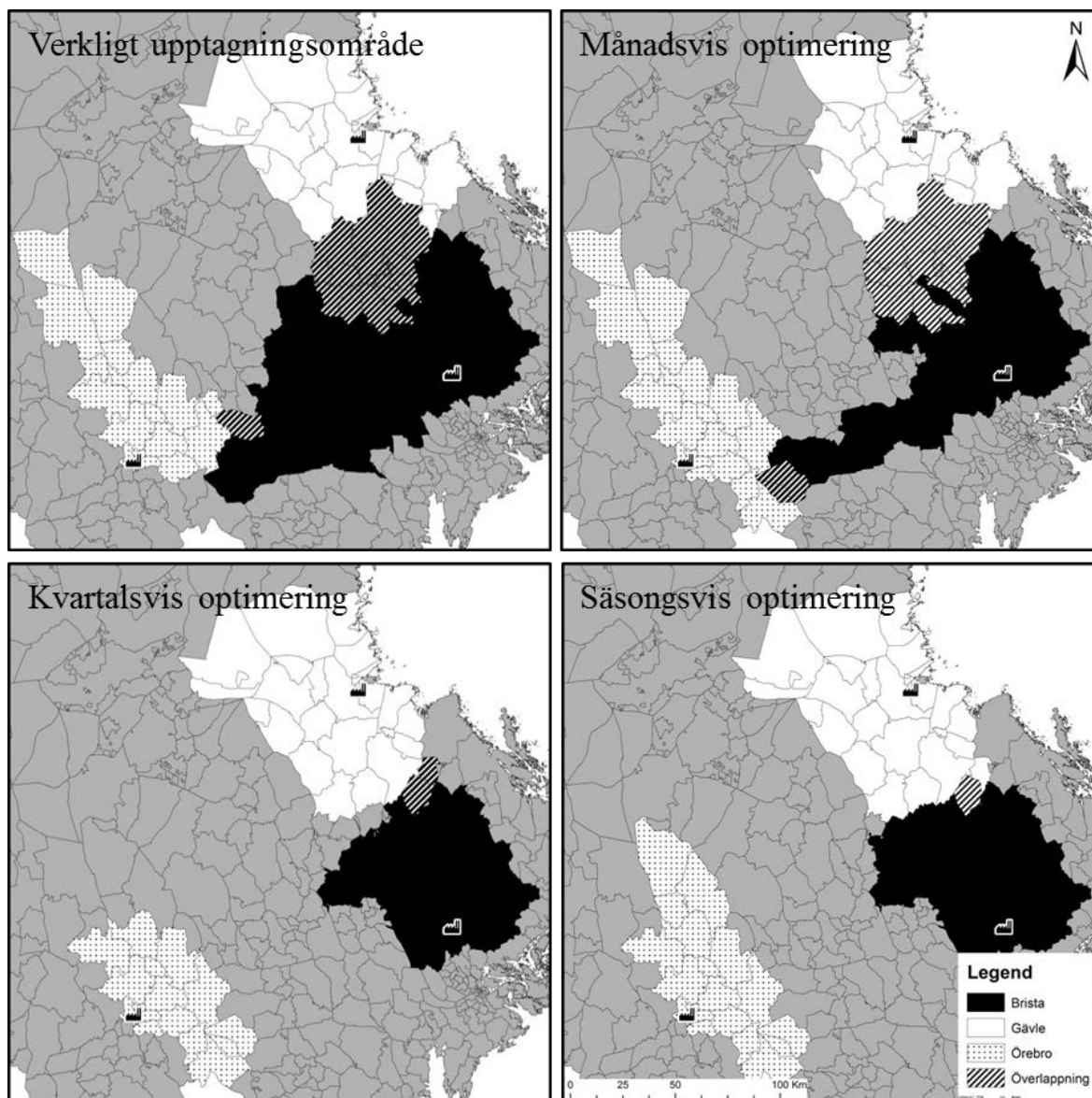
Totalt levererades GROT-flis till 11 mottagare under biobränslesäsongen 11/12. Då samma energimängd som i testperioden även kördes in under Scenario 2 premierades vissa mottagare på bekostnad av andra. Figur 11 visar hur de inlevererade energimängderna omdestinerades i Scenario 2 jämfört med i testperiodens verkliga flöde. Avsteget utnyttjades aldrig till fullo hos alla mottagare men vid säsongsvis optimeringshorisont föreslog beslutsstödet att inleveranserna borde förändras med den maximala gränsen på 10 % för 8 av 11 mottagare. Vid säsongsvis optimeringshorisont genererades även de största totala flödesförändringarna.



Figur 11. Förändring av inlevererad energimängd per mottagare med ett maximalt tillåtet avsteg från respektive leveransplan på +/- 10 % vid tre olika optimeringshorisonter under Scenario 2.

Figure 11. Change of delivered amount of energy per recipient with delivery precision of +/- 10 % for the three different optimization horizons in Scenario 2.

I Figur 12 framgår hur upptagsområden förändrades i Scenario 2 vid olika optimeringshorisonter. Längre optimeringshorisonter genererade mindre upptagningsområden och mindre överlappande arealer.



Figur 12. Kartor visande hur tre mottagares upptagningsområde förändras, vid olika optimeringshorisonter, under Scenario 2.

Figure 12. Maps showing how the catchment areas change for three receivers between different optimization horizons in Scenario 2.

3.4 Jämförelse mellan Scenario 1 och Scenario 2

Att samma indata användes för såväl Scenario 1 som Scenario 2 gjorde det möjligt att kvantifiera ökningen av den totala vinsten vid ett tillåtet avsteg på maximalt $\pm 10\%$ från verkliga inleveranser vid de olika optimeringshorisonterna. Vid jämförelse av Figur 5 och 9 kan utläsas att de enskilda flödena skiljde en del mellan scenarierna men den beräknade vinstökningen i Scenario 2 jämfört med Scenario 1 var dock endast mellan 0,7 och 0,9 procentenheter (Tabell 5). Det var genomgående små förändringar avseende upptagningsområden mellan scenarierna (Figur 8, Figur 12) och den tydligaste skillnaden var hur Bristas upptagningsområde i Scenario 2 reducerades vid kvartalsvis optimeringshorisont.

Tabell 5. Förbättringspotential vid Scenario 2 jämfört med Scenario 1**Table 5.** The potential for improvement in Scenario 2 compared to Scenario 1

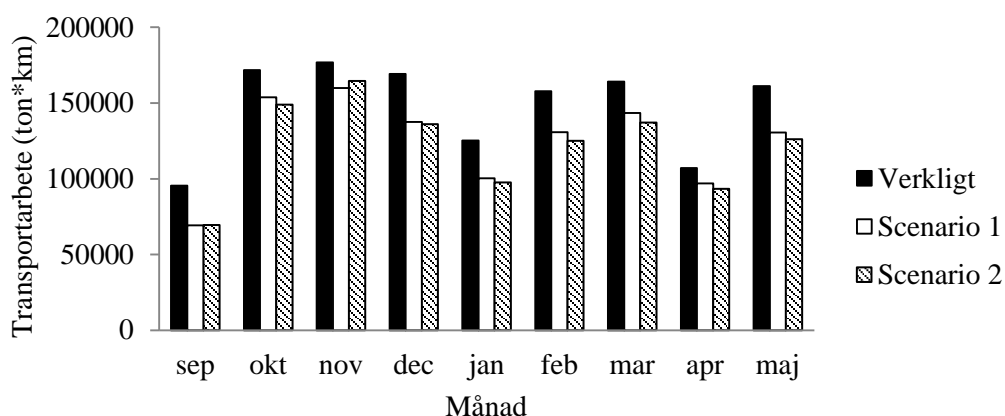
Relativ förbättring	Optimeringshorisont		
	Månad	Kvartal	Säsong
	%	%	%
Vinstökning	0,9	0,9	0,7
Reducering av transportarbete	- 1,8	- 2,0	- 0,2
Flisningsandel traktorhugg/lastväxlare	- 0,3	- 0,3	0,0
Flisningsandel lastbilshugg	0,3	0,3	0,0

Enligt Tabell 6 var det viktvägda medeltransportavståndet 0,1 till 1,0 km kortare i Scenario 2 än i Scenario 1. Medeltransportavstånden sänktes i de båda optimeringsscenarierna jämfört med det verkliga i genomsnitt med 12 km vilket motsvarade 23 %.

Tabell 6. Jämförelse av viktvägda medeltransportavstånd mellan Scenario 1 och 2**Table 6.** Comparison of average transportation distance between Scenario 1 and 2

Scenario	Optimeringshorisont				Medel vid optimering km	Genomsnittlig reducering km
	Verkligt	Månad	Kvartal	Säsong		
	km	km	km	km		
1	52,3	44,2	39,7	38	40,6	11,7
2	52,3	43,2	38,7	37,9	39,9	12,4
Differens	0,0	1,0	1,0	0,1	0,7	0,7

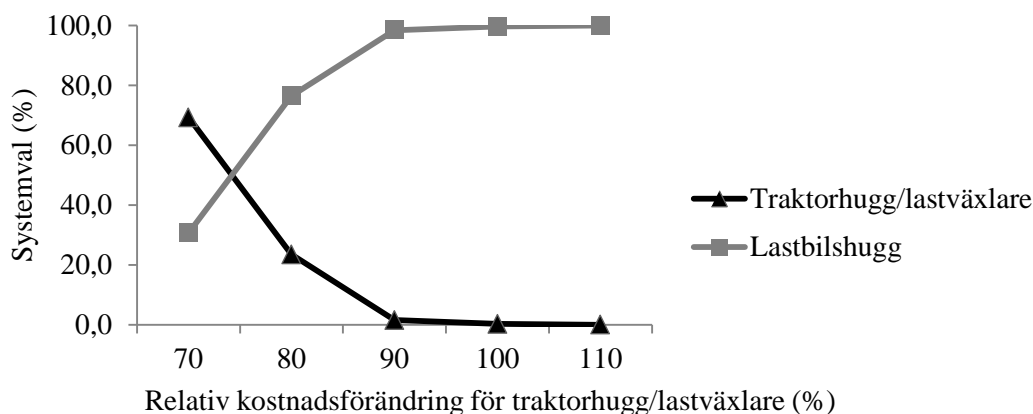
Vid jämförelse av månadsvisa transportarbetet uppnåddes (Figur 13) i regel ett lägre transportarbete i Scenario 2 där avsteg från inleveranser tilläts. I september och november valde dock beslutsstödets att under Scenario 2 föreslå längre transporter, vilka genererade högre transportarbete, för att utnyttja det tillåtna avsteget hos bättre betalande mottagare.

**Figur 13.** Jämförelse av det månadsvisa transportarbetet i det verkliga flödet samt flöden i Scenario 1 och 2.**Figure 13.** Comparison of monthly transport work between the real flow and the optimized flows in Scenario 1 and 2.

3.5 Känslighetsanalys av traktorhugg/lastväxlars tariffer

Känslighetsanalysen avseende traktorhugg/lastväxlars tariffer för flisning och transport genomfördes under förutsättningar från Scenario 1 och med kvartalsvis

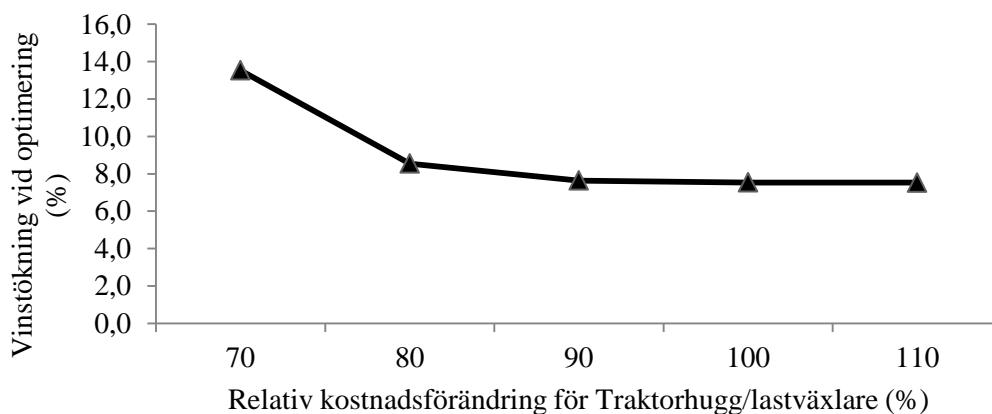
optimeringshorisont. Figur 14 visar hur en synkroniserad höjning och sänkning av traktorhugg/lastväxlars tariffer i intervaller om 10 % påverkar BioMax:s systemval. Tariffen för lastbilshugg hölls genomgående konstant på ursprungspriset. Det krävdes en sänkning av traktorhugg/lastväxlars tariffer med mellan 20 och 30 % för att BioMax skulle föreslå användning av maskinsystemet i lika stor utsträckning som lastbilshugg. När traktorhugg/lastväxlars tariffer sänktes med 30 % var det ekonomiskt fördelaktigt att använda systemet till ca 70 % av energimängden. Vid höjning av traktorhuggs/lastväxlars tariffer med 10 % eller mer valdes systemet helt bort.



Figur 14. Figuren visar vilken effekt en relativ förändring av traktorhugg/lastväxlars tariffer har på systemval. 100 % på x-axeln motsvarar fördelningen av systemval med ursprungstarifferna.

Figure 14. Figure showing the effect of varying price for the forwarder-mounted chipper and the switch-body container truck on machine system selection. 100 % on the x-axis corresponds to the original distribution of prices

Figur 15 visar hur samma ändring av traktorhugg/lastväxlars tariffer påverkade den totala vinsten. Det krävdes en prissänkning av traktorhugg/lastväxlars tariffer på över 20 % för att uppnå en vinstökning på en procentenhet. 100 % på x-axeln motsvarar det första scenariots vinstökning, vid kvartalsvis optimering, på 7,5 %.



Figur 15 Figuren visar vilken effekt en relativ förändring av traktorhugg/lastväxlars tariffer har på det totala vinsten. 100 % på x-axeln motsvarar optimeringen med ursprungstarifferna.

Figure 15. Figure showing the effect of changing price for the forwarder-mounted chipper and the switch-body container truck on net profit. 100 % on the x-axis corresponds to the optimization with original prices.

Optimeringar genomfördes även där endast ett maskinsystem tilläts att väljas genomgående under hela biobränslesäsongen 11/12. Förutsättningarna var från Scenario 1 och kvartalsvis optimeringshorisont användes. Tabell 7 visar att den beräknade totala vinsten över en biobränslesäsong i medel var 23,9 % högre då endast lastbilshugg valdes som maskinsystem än motsvarande vinst då endast traktorhugg/lastväxlare valdes.

Tabell 7. Potentiell vinstökning genom optimering med 100 % användning av lastbilshugg kontra 100 % användning av traktorhugg/lastväxlare

Table 7. The increase in net profit gained by a 100% use of truck-mounted chipper trucks versus 100% use of forwarder-mounted chippers and the switch-body container trucks

	Kvartal			Medel
	sep-nov	dec-feb	mar-maj	
	%	%	%	
Vinstökning	19,9	25,9	25,3	23,9

4. Diskussion

Syftet med detta projekt var att skapa ett enkelt men skarpt enperiodsbeslutsstöd (Bilaga 1 - 10) och med hjälp av detta kvantifiera förbättringspotentialen i AB Karl Hedins GROT-flisflöde. Resultatet från beslutsstödet optimeringar visade att det fanns en potentiell möjlighet att reducera medeltransportavståndet med mellan 15,5 och 27,6 %. Vid kvartalsvis optimeringshorisont beräknades en potentiell vinstökning på 7,5 till 8,4 %. Beslutsstödet valde nästan uteslutande att använda maskinsystemet lastbilshugg.

4.1 Kritik mot beslutsstödet modellformulering

Kritiken mot beslutsstödet modellformulering omfattar tre restriktioner varav två är kopplade till säsongsviss variation avseende efterfrågan av biobränsle och den tredje är kopplad till beslutsstödet upplösningegrad.

Den första kritiken av modellformuleringen riktas mot de restriktioner som styr så att inleveranser sker efter efterfrågan (E_j). Restriktionerna anger efterfrågan per mottagare efter rådande leveransplan men beroende på för vilken tidsperiod som väljs att fylla i efterfrågan för definieras även optimeringshorisontens längd. Då BioMax är ett enperiodsbeslutsstöd existerar endast efterfrågerestriktioner som täcker hela perioden, vilket gör att det ej är möjligt att fånga upp variationer inom perioden. Det är därför av vikt att optimeringshorisonten ej sträcker sig över tidsperioder med allt för hög efterfrågevariation då BioMax i fallet kommer att generera en överskattning av förbättringspotentialen. Under biobränslesäsongen 11/12 rådde hög efterfrågevariation (Figur 4) och restriktionerna klarade således ej vid säsongsviss optimering att fånga variationen inom optimeringshorisonten vilket fick till följd att optimeringens förbättringspotential där överskattades. Värmeverkens efterfråga varierade generellt i takt med årstiderna då det finns ett starkt samband mellan temperatur och hur mycket värme konsumenterna förbrukar (Johansson 2012, pers. komm.). Efterfrågan inom årstider var relativt jämn och då varje period vid kvartalsvis optimeringshorisont täcker just en årstid klarade restriktionerna där i högre grad fånga efterfrågevariationen. Troligtvis klarade dock beslutsstödet ej att vid kvartalsvis optimeringshorisont fånga upp den ökade efterfrågan som en ovanligt kall period i maj genererade. Beslutsstödet restriktioner klarade i högst grad att fånga efterfrågevariationen vid månadsvis optimering. Det är även möjligt att i BioMax använda ännu kortare optimeringshorisonter och därmed i ännu högre grad fånga efterfrågevariationen. Detta skulle dock innebära fler optimeringar men även ta mer tid i anspråk och med största sannolikhet ger månadsvis optimeringshorisont tillräckligt hög precision.

BioMax genererade vid säsongsviss optimering en vinst som var mellan 3 till 4 % högre än motsvarande vid månadsvis optimering. Ingen annan identifierad studie använder sig av exakt samma optimeringshorisonter som denna, men som jämförelse genererade Örtendahl till följd av en förlängd optimeringshorisont (2001) i en flödesoptimering, avseende massaved, en estimerad vinstökning på 5,8 %. I en flödesoptimering avseende timmer genererade Bergdahl et al. (2003) till följd av längre optimeringshorisont en kostnadsänkning på ca 3 %. Att längre optimeringshorisonter påvisar högre förbättringspotentialer betyder inte att optimeringar med längre optimeringshorisonter är mer lönsamma än de med kortare utan snarare att modellers restriktioner vid längre optimeringshorisonter i lägre grad klarar att fånga upp de yttre förhållandena. Påvisade höga förbättringspotentialer, genererad genom allt för långa optimeringshorisonter, mäter

således snarare modellens fel än modellens förbättringspotential. Vad som är en lagom lång optimeringshorisont beror på under hur stabila omständigheter optimeringen sker. Således är det rimligt att använda sig av kortare optimeringshorisonter vid optimering av biobränsleflöden än vid ex. vis optimering av rundvirkesflöden beroende på att efterfrågevariationen av biobränsle är högre än efterfrågevariationen av rundvirke.

I FuelOpt (Flisberg et al., 2012), som är ett flerperiodsbeslutsstöd avseende biobränsle, genomförs en årsvis optimering över 12 perioder (månader) där specifik månadsvis efterfrågan anges. En fördel med specifik månadsvis efterfrågan är att beslutsstödet restriktioner då bättre klarar att fånga upp en varierande efterfråga (Frisk, 2012, pers. komm.). Beslutsstöd som klarar att hantera fler perioder i samma optimering har även fördelen att de klarar att lösa problematik avseende terminalers lagerstyrning som ofta följer en varierande efterfråga. För lösning av problemet i FuelOpt används optimeringslösaren CPLEX, som klarar att hantera så stora datamängden som tolv perioder innebär. Anledningen till att BioMax utformades som ett enperiodsbeslutsstöd istället för ett flerperiodsbeslutsstöd var att den tillgängliga mjukvaran hade en begränsning på 8000 variabelceller samtidigt som en periods optimering upptog 3134 av dem. Således var det möjligt att skapa ett tvåperiodsbeslutsstöd men för att formulera modellen så att restriktionerna fångar upp den rådande efterfrågevariationen krävdes att de enskilda perioderna var maximalt ett kvartal (en årstid) långa. Då högsäsongen avseende biobränslen täcker nio månader krävdes därför i detta fall minst tre perioder för att skapa ett funktionellt heltäckande flerperiodsbeslutsstöd, vilket inte variabelcellerna räckte till för. Därför valdes istället att skapa ett enperiodsbeslutsstöd och genom detta genomföra fler enskilda optimeringar.

BioMax testkördes i jämförande syfte mot nio månader historiskt data där efterfrågevariationen var helt känd. Vid framtida användning av BioMax är det dock endast rimligt att optimera med kvartalsvis optimeringshorisont eller kortare. Vid längre optimeringshorisonter råder för stor osäkerhet avseende efterfrågan. Osäker efterfrågan blir ett problem särskilt vid optimeringar av biobränsleflöden som behandlar långa optimeringshorisonter då det krävs kännedom om specifik efterfrågan långt fram i tiden. Då efterfrågan är starkt kopplad till temperatur innebär det i princip att för att genomföra en årsvis optimering måste operatören kunna förutspå hur till vida nästa vinter blir varm eller kall för att därmed kunna ange efterfrågerestriktionerna rätt. Detta leder till att även om mjukvaror klarar avancerade optimeringar så riskerar optimeringarna att bli av lågt värde om inte efterfrågan för perioder långt fram i tiden anges korrekt.

Den höga efterfrågevariationen under året skapar även en säsongvis variation avseende kapacitetsbehov för sönderdelning och transport. Vid kartläggning av testperiodens verkliga flöde identifierades ett samband mellan kortare medeltransportavstånd och högre inlevererad energimängd under de kallare månaderna och ett motsatsförhållande under de varmare månaderna. Även Haapaniemi (2011) påvisar motsvarande samband. Den generella förklaringen till det grundas på att för att hålla jämnare kapacitetsutnyttjande av kontrakterade maskinresurser tas i regel de kortare transporterna under vintern, då störst energimängder levereras. Att de kortare transporterna sker under vinterhalvåret kan även till viss del förklaras med att frysta vägbanor gör fler GROT-vältor åtkomliga vilket ökar valmöjligheterna vid objektsval (Johansson 2012, pers. komm.).

Den andra kritiken av modellformuleringen handlar om avsaknaden av kapacitetsrestriktioner. Det saknas både restriktioner som styr optimeringsutfall mot årsvis

jämnare kapacitetsutnyttjning såväl som restriktioner som styr mot ett maskinsystemval efter kontrakterad kapacitet. Restriktioner som anger intervall för transportarbete eller viktvägt medeltransportavstånd skulle kunna användas för att styra mot längre transporter under de varmare månaderna i syfte att hålla en jämnare årsvis kapacitetsutnyttjning. Sådana restriktioner utelämnades dock på grund av att det är svårt att ange dem korrekt och om restriktionerna blir felaktigt ifyllda (för höga värden) riskerar de att tvinga fram för långa transporter som kan reducera nyttan med hela optimeringen. Restriktioner av detta slag har inte identifierats i någon av de i rapporten nämnda analyserna men skulle fylla en funktion i flödesoptimeringar som behandlar råvaror med stor efterfrågevariation. I analysens beslutsstöd väljs maskinsystem baserat på det som är mest lönsamt med transportavstånd som brytpunkt. Att istället införa restriktioner med givna kapacitetintervall per maskinsystem skulle ge ett systemval som bättre speglade de i dagsläget kontrakterade resurserna. Restriktioner bestående av ett intervall för sönderdelad eller transporterad energimängd per system kunde användas för att styra systemvalet mot tillgängliga resurser. I FuelOpt (Flisberg et al., 2012) existerar kapacitetsrestriktioner som gör att optimeringens maskinval styrs mot kontrakterade resurser. Att BioMax saknade motsvarande restriktioner berodde på att optimerade systemval var en parameter som ville undersökas samt att det var en annan faktor som var den huvudsakliga begränsningen avseende val av maskinsystem. Den verkliga begränsningen för systemval var huruvida värtorna låg åtkomliga från bilväg eller ej då lastbilhuggen endast kunde nå värtor i anslutning till bilväg.

Den tredje kritiken mot modellformuleringen handlar om att beslutsstödet i nuvarande form inte tar någon hänsyn till värtors tillgänglighet från bilväg. Då en del aggregeringsenheter (församlingar) innehöll både värtor som låg längs bilväg och värtor som låg på hygge, samtidigt som de mest detaljerade begränsningar beslutsstödet restriktioner klarade att hantera var på församlingsnivå, var det ej möjligt att införa begränsningar på enskilda värtor. För att infoga restriktioner som täcker det måste all form av dataaggregering avlägsnas för att därigenom nå ner på ett precisionsdjup som behandlar enskilda avlägg. Detta är dock problematiskt då nya avlägg kontinuerligt tillkommer samtidigt som gamla körs in. Eftersom beslutsstödet i nuvarande form aggregerar avlägg på församlingsnivå är det ej möjligt att införa sådana restriktioner utan att revidera hela den matematiska modellen. Det var möjligt att skapa ett sådant beslutsstöd men det skulle vara svårt att göra det användarvänligt eftersom i takt med att antalet värtor ändras så ändras även antalet variabelceller vilket får till följd att den matematiska modellen då måste ändras. Alternativet var att göra ett beslutsstöd, med befintliga avlägg som tillgångsnoder, med vilket det endast skulle vara möjligt att generera ett optimeringsutfall. Fördelen skulle vara att högre precision då skulle uppnås. Det skulle dock krävas grundliga justeringar av mjukvaran innan det skulle vara möjligt att återanvända den, under nya förutsättningar, vilket skulle vara mycket svårt och tidskrävande för den enskilde användaren. Efter övervägning valdes att skapa ett beslutsstöd baserat på aggregerad indata på bekostnad av tillgänglighetsrestriktioner. Palander et al. (2004) och Andersson et al. (2007) visar dock att det är möjligt att skapa beslutsstöd med restriktioner som klarar att reglera enskilda avlägg och som dessutom kan hantera att volymer kontinuerligt tillkommer och körs in.

Ett alternativt sätt att hantera värtors tillgänglighet i beslutsstödet hade varit att dela upp varje församlings volym efter värtor som är åtkomliga från bilväg respektive värtor som ej är det. Metoden hade dubblerat antalet råvarukällor (två per församling) och således även antalet variabelceller i beslutsstödet. Beslutsstödet uträkningar hade då blivit betydligt större men mjukvaran hade fortfarande klarat dem. Beslutsstödet hade då tvingats att alltid

välja lastbilshugg för de vältor som ligger i åtkomliga från bilväg och traktorhugg/lastväxlare för de vältor som ej ligger åtkomliga från bilväg. Denna studie visade att det är optimalt att använda traktorhugg/lastväxlare för en GROT-välta av genomsnittlig storlek (485 m^3) om transportavståndet överstiger 131 km oavsett om vältan ligger åtkomliga från bilväg eller ej. Även om transporter längre än 131 km är ovanliga så har beslutsstöd baserade på dubbla råvarukällor då en nackdel därför de aldrig kan föreslå användning av traktorhugg/lastväxlare för vältor som ligger tillgängliga från bilväg även då det är ekonomisk optimalt att göra det. Metoden hade begränsat systemvalet och därmed även likt tidigare nämnd kritik begränsat denna studies analys avseende optimala framtida maskinval. Denna metod används i Flisberg et al. (2012) och i efterhand hade denna metod ändå möjligtvis varit att föredra.

Restriktioner avseende enskilda vältors tillgänglighet är ej möjliga att infoga i BioMax men däremot är det redan nu möjligt att använda kapacitetsrestriktioner då BioMax skapades i två versioner där version 2 inkluderar sådana restriktioner. Version 1 av BioMax, som användes till denna studies alla analyser, optimerar maskinsystemval efter transportavstånd (enligt tidigare beskriven metodik) och föreslår därmed alltid optimala maskinsystem. I version 2 däremot anges manuellt ett transportavstånd som brytpunkt mellan systemen vilket betyder att operatören själv kan välja en brytpunkt som genererar ett utfall som återspeglar kontrakterade resurser. Trots att en manuellt angiven brytpunkt utgör restriktioner som styr systemval och därmed begränsar optimeringslösarens valmöjligheter så finns det fördelar med att ange brytpunkten manuellt. Det är därigenom möjligt för operatören att generera ett utfall som i högre grad är överförbart till praktiken medan optimering i BioMax version 1 genererar ett optimalt systemval som dock riskerar att inte finnas tillgängligt för kontraktering.

4.2 Kritik mot beslutsstödet indata

Kritiken mot indata riktas till att församlingar användes i beslutsstödet som aggregeringsenheter för råvara. Ett problem är att församlingar försvinner i takt med att svenska kyrkan effektiviserar och slår ihop enheter. Denna faktor riskerar att förkorta livslängden på beslutsstödet då medeltransportavstånden på hopslagna aggregeringsenheter ej blir korrekta. Problem kan även uppstå vid utsökande av volymer per församling, då församlingsnummer i beslutsstödet ej längre överensstämmer med verkligt nummer. Att församlingar valdes som aggregeringsenheter för råvaruvolym beror på att det är den enhet AB Karl Hedins datasystem för biobränsle registrerar samt att församlingar tidigare använts inom bolaget för en flödesoptimering av timmer. Församlingar är även de geografiska enheter som SDC kvantifierar avtransporterade volymer för. Det är fördelaktigt att använda så små aggregeringsenheter som möjligt då mindre enheter ger högre precision avseende medeltransportavstånd och församlingar är också de minsta tillgängliga enheterna.

Flisberg et al. (2012) använde sig av kommuner som aggregeringsenheter vid skapandet av beslutsstödet FuelOpt trots att det ger högre aggregering än församlingar. Fördelen med kommuner är att de inte slås ihop i samma grad som församlingar och nackdelen är att de ofta är större än församlingar vilket medför lägre precision avseende medeltransportavstånd. Problem kan uppstå i landskap som Dalarna och Värmland, där kommunerna i regel är större än i mer tätbefolkade landskap men troligtvis så blir ändå medeltransportavstånden med kommuner tillräckligt exakta. Trots att församlingar används av SDC är kommuner att föredra som aggregeringsenheter dels beroende på nämnda

faktorer men främst beroende på att gemene man vet vart kommungränser går men inte vart församlingsgränser går.

4.3 Utvärdering av beslutsstödet förbättringspotential

Som underlag för skattning av förbättringspotential jämfördes optimeringsutfallen med utfall från det verkliga flödet under biobränslesäsongen 11/12. Beslutsstödet är således testkört mot en nio månader lång period med tre olika längder av optimeringshorisonter. Alla resultat som beslutsstödet genererar är dock teoretiska maximum som aldrig fullt ut är möjligt att uppnå i praktiken. Yttre faktorer som väderförutsättningar, marknadsförhållanden och slumpmässiga händelser påverkar i hög grad flödesplaneringen och är inte möjliga att fånga upp av beslutsstödet restriktioner. Den verkliga förbättringspotentialen för liknande beslutsstöd, baserade på linjär programmering, varierar men ligger på mellan 40 och 60 % av den teoretiska förbättringspotentialen (Frisk, 2012, pers. komm.).

4.3.1 Ekonomisk vinst

Under förutsättningarna från Scenario 1 räknades beslutsstödet potentiella vinstökning till 4,9 %, 7,5 % och 8,5 % för månadsvis, kvartalsvis respektive säsongsvis optimering (Tabell 3). Som tidigare nämnt var resultatet för säsongsvis optimering en överskattning men det existerar även en faktor som gör alla optimerings potentiella vinstökningar underskattade, vilket beskrivs i följande stycke.

Testperiodens historiska data infördes inledningsvis i BioMax och en vinst genererades baserat på det verkliga flödet, utan optimering. Denna genererade vinst användes genomgående i analysen som jämförande underlag för att räkna ut den potentiella förbättringspotentialen i de olika optimeringsutfallen (dvs. den genererade vinsten subtraherades från de optimerade vinsterna och differensen utgjorde förbättringspotentialen). Den genererade vinsten från testperiodens verkliga flöde räknades dock med optimala maskinsystem trots att det i verkligheten användes en betydligt större andel traktorhugg/lastväxlare. Detta följer att vinsten som BioMax genererade för testperiodens verkliga flöde således blev något högre än vad vinsten var i verkligheten. Anledningen till att den verkliga fördelningen av maskinsystem inte användes var att det under testperioden genomfördes många flöden (tillgångsnod till efterfrågenod) av fler än ett maskinsystem. Då BioMax lägsta aggregeringsnivå var på enskilda församlingar var det ej möjligt att ta hänsyn till enskilda transporter och därför ej heller möjligt att särskilja flera maskinsystem per flöde. Följaktligen var det heller inte möjligt att mata in transporter genomförda med flera maskinsystem till ett och samma flöde. Då alla studiens uträkningar utfördes via beslutsstödet, och det ej var möjligt att mata in allt historiskt data i befintlig form, fick en kompromiss här genomföras och det historiska flödets vinst räknades därför med optimala maskinsystem. Att testperiodens genererade vinst, som användes för jämförelser i studien, var något högre än den verkliga vinsten får dock följderna att risken för överskattning av optimeringsutfallens förbättringspotentialer är låg. Den beskrivna metodiken är dock i sammanhanget allmänt vedertagen då beslutsstöd av detta slag endast behandlar problem angående flöden och aldrig ger svar avseende problem kopplade till enskilda rutter (Frisk, 2012, pers. komm.). Att BioMax ej behandlar enskilda avlägg och rutter är även skälet till att testperiodens verkliga flöden avseende lastbilshugg och traktorhugg/lastväxlare ej skiljdes åt i flödeskartorna (Figur 5, Figur 9).

Vid jämförelse mot andra studier som syftar till vinstmaximering estimerar Flisberg et al. (2012) en potentiell förbättringspotential på 21 %, för en flödesoptimering av biobränsle,

men studiens beslutsstöd behandlar flera perioder, flera sortiment och betydligt större antal parametrar än BioMax. Örtendahl (2001) estimerar, vid en flödesoptimering av massaved, en vinstökning mellan 2,2 och 9,0 % beroende på optimeringshorisont och restriktioners strikthet. I jämförelse var spridningen av vinstökning i denna studies båda scenarier, med månadsvis och kvartalsvis optimeringshorisont, 4,9 till 8,4 %. Som tidigare nämnt är dock den verkliga förbättringspotentialen alltid avsevärt lägre än den teoretiska och med hänsyn till samtal med flödesansvariga inom AB Karl Hedin (Johansson, 2012, pers. komm.; Strömberg, 2012, pers. komm.), kommentarer från forskare inom ämnet (Frisk, 2012, pers. komm.; Fjeld, 2012, pers. komm.), kritik mot beslutsstödet modellformulering samt beaktande av erfarenheter från tidigare nämnda studier estimeras BioMax:s verkliga potential att höja vinsten, vid kvartalsvis optimeringshorisont, till mellan 3 och 4 %.

4.3.2 Medeltransportavstånd

Reduceringen av transportarbetet var i Scenario 1 och 2 vid månadsvis och kvartalsvis optimeringshorisont från 15,5 till 26,1 % (Tabell 3, Tabell 4) vilket motsvarar mellan 8,1 och 13,6 km i viktvägt medeltransportavstånd (Tabell 6). I Tabell 8 visas reduceringen vid kvartalsvis optimering under Scenario 1 i jämförelse med andra undersökningar som syftar till vinstmaximering eller kostnadsminimering. De jämförda beslutsstöden optimerar en period i taget undantaget Flisbergs et al. (2012) som optimerar alla perioder i en och samma optimering. Trots det är den studien av särskilt intresse då den berör samma sortiment och möter en liknande efterfrågevariation.

Tabell 8. Jämförelse av olika studier som använt metoden linjär programmering för att reducera medeltransportavståndet

Table 8. Comparison of the reduction of average transport distance reported in various flow optimization studies

	Undersökning	Transportavstånd			
		Verkligt km	Optimerat km	Reducering %	Opt. horisont
Rundvirke	Örtendahl 2001	81	75	7,4	1 st. 2 v.
	Bergdahl et al. 2003	63	57	9,5	26 st. 2 v.
Skogsbränsle	Flisberg et al. 2012	58,8	41,7	29,1	12 st. 1 mån.
	BioMax	52,3	39,7	24,1	3 st. 3 mån.

Den estimerade potentialen för reducering av medeltransportavstånd är högre vid optimering av skogsbränsleflöden än vid optimering av rundvirkesflöden och en tänkbar förklaring till detta är att flödesplanering för rundvirke är en äldre process och därmed mognare än flödesplanering för skogsbränsle. Som följd ligger flödesplaneringen av rundvirke i dagsläget närmare ett optimum vilket leder till att det där finns mindre förbättringspotential kvar att utvinna. BioMax:s verkliga potential till reducering av medeltransportavståndet uppskattas, med hänsyn till detta och med samma hänsyn som vid den ekonomiska vinstens förbättringspotential, att ligga på ca 10 %.

4.3.3 Optimeringshorisontens effekt på upptagningsområden

Ovan diskuterades överskattade förbättringspotentialer till följd av för långa optimeringshorisonter. Dessa överskattningar återspeglas direkt i kartorna av upptagningsområden (Figur 8, Figur 12) där längre optimeringshorisonter genererade mindre upptagningsområden. Då upptagningsområdena i denna studie är baserade på flöden kunde dock enskilda flöden kraftigt utöka eller minska upptagsområden. Det gick

därför inte att utläsa något generellt samband mellan större/mindre upptagsområden och höjda/sänkta inleveranser, till följd av det tillåtna inleveransavsteget i Scenario 2.

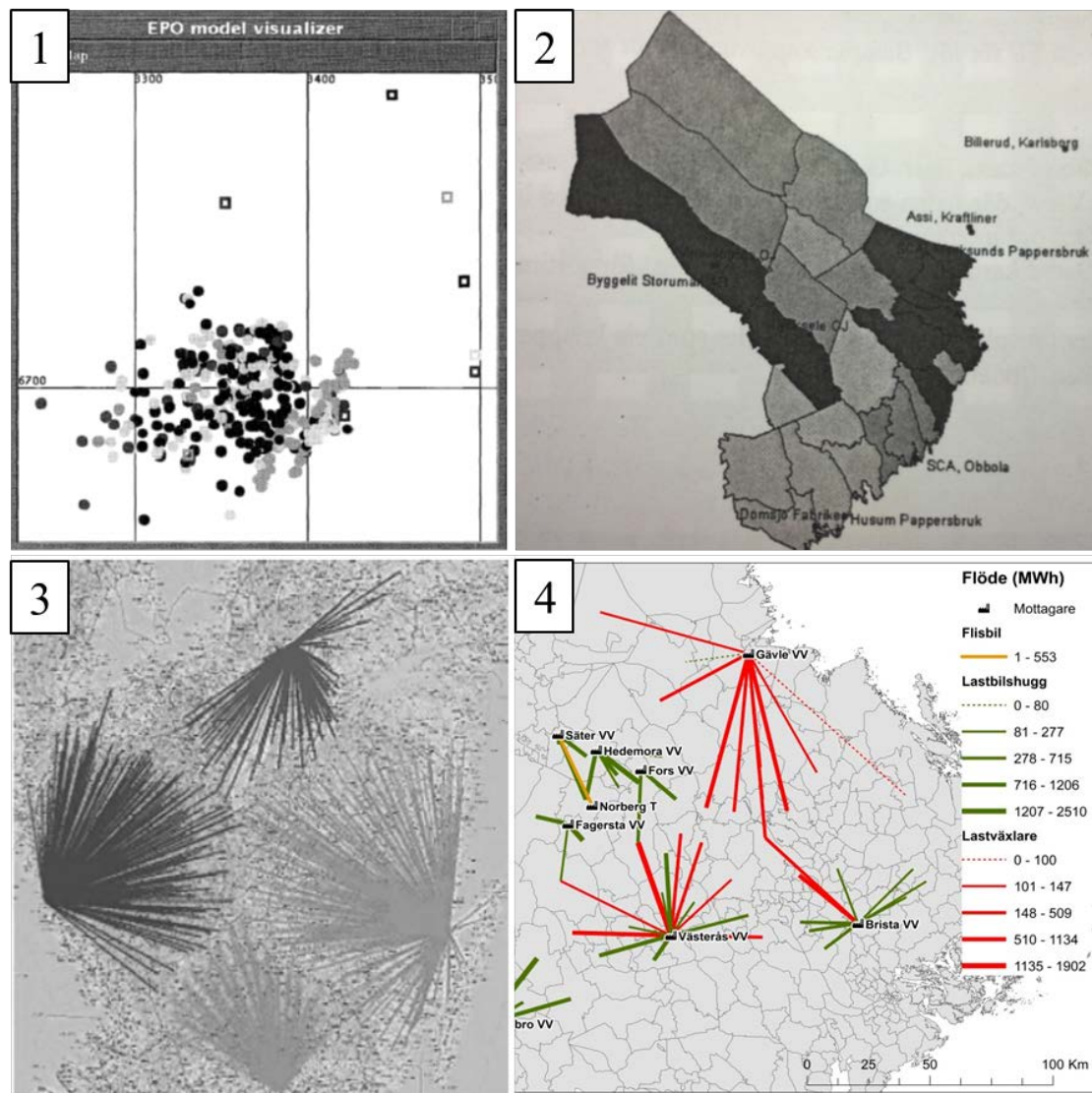
4.3.4 Leveransplansavstegets effekt på optimeringsutfall

Det andra scenariots tillåtna avsteg från inlevererad energimängd gjorde att restriktionerna tillät större valmöjligheter för optimeringslösaren. Följden av detta blev dock att befintliga flödens storlek ändrades i större utsträckning än flödens sträckning. Avsteget från varje mottagares inlevererade energimängder till följd av det tillåtna avsteget visualiseras i Figur 11. Att BioMax syftade till att maximera vinsten gjorde det möjligt att identifiera flöden i Scenario 2 i vilka det var värt att ta längre transporter för att nå bättre betalande mottagare (Figur 13). Dessa hade ej varit möjliga att identifiera i en kostnadsminimering. De flöden som styrdes om gjorde dock oftare det i syfte att minimera transportavstånden istället för att höja leverera till de högst betalande mottagarna. En trolig anledning till det var att betalningen hos de olika mottagarna inte skiljde nämnvärt. Standardavvikelse avseende mottagarnas betalning (kr/MWh) var endast 5 % samtidigt som den maximala spridningen i de historiska transportavstånden var hela 165,6 km (Tabell 2). Räknat på lastbilshuggens tariff innebar 5 % skillnad att ett fullt lass endast kunde köras 6,8 km längre med samma vinst. Skillnaden mellan mottagaren som betalar högst respektive lägst var 17 % vilket gör att en maximal transportökning på 22,5 km kunde motiveras. Mervärdet som genererades genom det tillåtna leveransplansavsteget var dock försumbar (Tabell 5) då den maximala vinstökningen, jämfört med Scenario 1, aldrig var högre än en procentenhet. Örtendahl (2001) visar dock att ett motsvarande tillåtet avsteg från inlevererad volym, i en flödesoptimering avseende massaved, genererar en genomsnittlig potentiell vinstökning på 4,2 %. Förklaringen till den studiens högre skattning av förbättringspotentialen kan vara att verksamhetsområdet i fråga är stort med långa transportavstånd vilket innebär att enskilda längre flöden som väljs bort kan ha stor inverkan på den totala vinsten.

4.4 Resultatpresentationens betydelse vid flödesoptimering

Vid användning av beslutsstöd är resultatpresentation och visualisering av stor vikt för att undvika feltolkningar av användaren. I BioMax löstes detta dels via generering av 5 olika rapporter (Bilaga 6 - 10) med värden från de olika flödena och dels genom export av flöden till ArcGIS där en flödeskarta (Bilaga 5) genererades. Flöden med olika transportslag visualiseras med streck i olika färger och flödens energimängd genom olika tjocklek på strecken. Genom att i ArcGIS peka på objekt är det dessutom möjligt att direkt i kartan utläsa församlingsnamn och exakta storlekar på flöden. Även i Flisberg et al. (2012) och i Forsberg et al. (2005) visualiseras flöden i form av streck (Figur 16). Ett annat exempel på visualisering är Linnainmaa et al. (1995) som löser resultatpresentationen genom att visualisera tillgångsnoder i form av rundvirkesvolym klustrade i storlekar av lass (punkter) i samma färg som den efterfrågenoden (fyrkanter) dit rundvirkets föreslagna destineringssträcker sig till. Örtendahl (2001) valde att visualisera huvudflöden genom att färglägga aggregeringsenheter i olika färger för olika mottagare. Denna visualiseringsmetodik har dock en begränsning då det endast är möjligt att utläsa huvudflödet från varje aggregeringsenhet. Riskerna finns att flöden som ej visualiseras inte heller uppmärksammas vilket får till följd att lägre andel av optimeringsutfallet implementeras och vinningen med optimeringen minskar. Fördelen med visualiseringar som visar alla flöden är att flödeskartan då fyller en viktig kontrollfunktion i vilken det är möjligt att identifiera orimliga flöden till följd av fel i modellen, som riskerar att förbigås om de endast visas som siffror i stora matriser eller som färglagda områden i en karta. Flödeskartor med flöden i form av streck fyller dessutom en funktion då de underlättar för operatörer att visuellt identifiera potentiella returmöjligheter, även om beslutsstödet i sig

inte räknar på returerna. Att flödets föreslagna energimängder eller volymer dessutom visualiseras genom olika tjocka streck har även fördelen att det då tydligt framgår vart verksamhetsområdets största flöden kommer att sträcka sig.



Figur 16. Jämförelse av olika beslutsstöds resultatvisualiseringar. 1. Linnainmaa et al. (1995), 2. Örtendahl (2001), 3. Forsberg et al. (2005) och 4. BioMax.

Figure 16. Comparison of visualization of flows in various decision supports. 1. Linnainmaa et al. (1995), 2. Örtendahl (2001), 3. Forsberg et al. (2005) and 4. BioMax.

Flödeskartor med visualisering i form av streck har även en fördel då det är möjligt att identifiera om föreslagna flöden korsar varandra. Korsande flöden kan uppstå inom ett optimalt flöde mellan maskinsystem som är kontrakterade på olika tariffer men de uppstår normalt inte inom maskinsystem kontrakterade på samma tariffer (undantag är vid verkliga u-formade vägsträckningar ex. vis runt vattendrag). Korsflöden inom maskinsystem kontrakterade på samma tariff kunde dock identifieras frekvent vid kvartalsvis och månadsvis optimering. Detta är dock helt logiskt då beslutsstödet är ett enperiodsbeslutsstöd vilket innebär att vid kvartalsvis- och månadsvis optimeringshorisont genomfördes tre respektive nio optimeringar helt oberoende av varandra. När dessa oberoende optimeringar sedan adderades för att visualisera respektive optimeringshorisonts

flöden över en niomånadersperiod var sådana korsflöden ofrånkomliga. Vidare existerar inte korsflöden inom maskinsystem vid säsongsviss optimering som endast består av en optimering. I Figur 5 och Figur 9 är det möjligt att se hur mängden korsflöden reducerades vid längre optimeringshorisonter. Liknande resultat redovisas i en flödesoptimering avseende rundvirke genomförd av Forsberg et al. (2005). Där visas flödeskartor med endast ett transportslag där korsflöden ej kan utläsas. Även Flisberg et al. (2012) styrker detta då de visar flödeskartor över en flödesoptimering, avseende biobränsle, innehållande flera transportslag och där korsflöden frekvent existerar. Sammanfattningsvis är kombinationen av en flödeskarta, som visualiserar maskinslag per flöde samt flödens storlek, och detaljerade tabeller att föredra då detta ger användaren ett element för överblick och ett element för detaljer.

4.5 Metodik för användning av BioMax som förhandlingsstöd

BioMax har även ett implementationsmöjlighet som stöd inför avtalsförhandling. Genom optimeringar med tillåtna avsteg från leveransplaner identifierar beslutsstödet till vilka mottagare de inlevererade energimängderna minskar respektive ökar och därigenom erhålls en indikation avseende vilka mottagare som är mest fördelaktiga att leverera till under rådande förutsättningar. Med denna metodik är det möjligt att generera ett optimeringsutfall som visar hur stora leveransplaner som är optimalt att sluta mot respektive mottagare givet specifika priser. Metoden tillämpas i följande fem steg:

1. Aktuell tillgång samt priser från senaste avtal matas in i beslutsstödet.
2. Totalt tillgängligt GROT-lager anges som respektive mottagares leveransplan.
3. Tillåtet avsteg från leveransplan ställs till - 100 % för respektive mottagare.
4. Optimera.
5. Generera flödesrapport (Bilaga 6).

Det som sker vid optimering är att med hänsyn till råvarulokalisering och priser men med helt fria leveransplaner destinerar aktuell energimängd till lämpligaste mottagare. Vid generering av flödesrapport erhålls då en rapport visande hur stora leveransplaner som är optimalt att sluta mot aktuella mottagare. Det är samtidigt möjligt att på kontrollpanelen (Bilaga 1) utläsa estimerade medeltäckningsbidrag för varje mottagare. Vet operatören dessutom av erfarenhet vad som är realistisk maxleverans till någon mottagare anges för denne istället lämplig leveransplan (E_j). Implementeringen förutsätter dock att inga större prisändringar träder i kraft.

Vid förhandling direkt mot kund är det med beskriven metodik möjligt att identifiera vilken leveransplan som är optimal att avtala baserad på motpartens givna pris. Det är även möjligt att genom att fylla i motpartens föreslagna leveransplan (E_j) att se vilka medeltäckningsbidrag och vilket totalt ekonomiskt netto affären estimeras att generera. Processen (punkt 1 till 5) upprepas tills båda parter är överens avseende pris samt leveransplan och därefter sluts avtal. Att optimeringen hela tiden görs med hänsyn till de andra mottagarnas förutsättningar gör det även möjligt att identifiera i vilken grad aktuell förhandling påverkar andra mottagares optimala leveransplaner och medel täckningsbidrag. Genom att jämföra medeltäckningsbidrag är det ex. vis möjligt att väga ett avtal mot en lågt betalande kund som är lokaliserad centralt i AB Karl Hedins verksamhetsområde (dvs. där de största energimängderna normalt sett är lokaliserade vilket genererar kortare transportavstånd) mot en högt betalande kund i verksamhetsområdets utkant (långa transportavstånd). Vid förhandling direkt mot kund är tiden en begränsande faktor vilket ställer krav på en snabb mjukvara. BioMax är väl lämpat

för direkt förhandling då optimeringssteget endast tar fem sekunder och generering av flödeskarta ytterligare tio sekunder.

4.6 Framtida utveckling av systemval

BioMax föreslog, vid optimeringar under Scenario 1 och 2, lastbilshugg för 99 till 100 % av den flisade energimängden (Tabell 3, Tabell 4) samtidigt som maskinsystemet föreslogs för 97 till 100 % av det totala transportarbetet (Figur 6, Figur 10). I jämförelse stod lastbilshugg i testperiodens verkliga flöde för 32 % av flisningen och 26 % av transportarbetet. Beslutsstödet valde i Scenario 2 att i högre grad välja lastbilshugg beroende på att det tillåtna avsteget från den inlevererade volymen medförde att fler flöden blev möjliga att dra till mottagare till vilka transportavstånden understeg brytpunkten på 131 km. I Scenario 1, vid månadsvis optimering, valde beslutsstödet som mest traktorhugg/lastväxlare och systemet stod där för 1 % av flisningen och 3 % av transportarbetet. En högre transportarbetsandel än flisningsandel innebar att systemet, helt enligt plan, föreslogs för de längre transporterna vilket även kan utläsas i Figur 5 och Figur 9.

Känslighetsanalysen (Figur 14, Figur 15) visade att tarifferna för traktorhugg/lastväxlare behövde sänkas ca 25 % för att göra systemet till ett ekonomisk sett konkurrenskraftigt alternativ. För att kvantifiera värdet av att välja rätt maskinsystem genomfördes även kvartalsvis optimeringar i vilka endast ett maskinsystem åt gången tilläts under hela biobränslesäsongen (Tabell 7). Jämförelsen visar att den beräknade totala vinsten, då endast lastbilshugg användes, i medel var 23,9 % högre än motsvarande vinst då endast traktorhugg/lastväxlare användes. Resultaten liknade känslighetsanalysens och betonar ytterligare vikten av att välja rätt maskinsystem.

Studien visar att vid alltför omfattande användning av traktorhugg/lastväxlare reduceras kraftigt den totala vinsten vilket följer av att det finns ett mervärde att i så hög grad som möjligt placera vältor längs bilväg för att därmed öka användningen av lastbilshugg. Jämförande siffror från Flisberg et al. (2012) visar att FuelOpt föreslog lastbilshugg för 68 % av den flisade energimängden mot 19 % i verkligheten. De nämner även att om de inte hade använt sig av kapacitetsrestriktioner hade lastbilshugg föreslagits avsevärt mycket mer. Berglund och Larsson (2012) kom i en jämförande analys av fakturerade kostnader hos Norra Skogsägarna fram till att lastbilshugg är billigare än traktorhugg/skopbil vid alla transportavstånd. Skopbil är, som nämnt i inledningen, ett system med motsvarande egenskaper som lastväxlare. Att dessa två studier, likt denna, påvisar att lastbilshugg är det billigaste alternativet indikerar att lastbilshugg är mest fördelaktigt som framtida systemval förutsatt att GROT-vältor kan placeras längs bilväg.

Ett steg för att öka användningen av lastbilshugg är att under de snöfria månaderna avvakta med GROT-skotningen till dess att rundvirkestravarna är borttransporterade. Det är då möjligt att placera GROT-vältan på den plats där rundvirkestravarna tidigare var placerade. Då rundvirkestravarna alltid ligger åtkomligt från bilväg skulle då även GROT-vältan göra det. Att en GROT-välta är mer skrymmande och ofta upptar större plats än en rundvirkestrave skulle kunna leda till platsbrist vid avlägget. Att rundvirkestrav sortimentsvis medan GROT lagras i större vältor utan sortering innebär dock troligtvis att GROT-vältor ofta skulle få plats där rundvirket tidigare var placerat. Att vänta med GROT-skotning under vintermånaderna är däremot inte lämpligt på grund av att skotningen kan omöjliggöras vid snöfall.

4.7 Slutsatser

- Vid användning av BioMax estimeras den möjliga vinstökningen, från anskaffning till försäljning av GROT-flis, till mellan 3 och 4 %.
- Genom optimering uppskattas den möjliga sänkningen av medeltransportavståndet för AB Karl Hedins GROT-flis transporter till ca 10 %.
- Resultatpresentation genom överblickande flödeskartor kopplade till detaljerade tabeller ökar beslutsstöds användarvänlighet samtidigt som de reducerar risken för feltolkning.
- Analysen visar att maskinsystemet lastbilshugg ekonomiskt sett är mer fördelaktigt än traktorhugg/lastväxlare.

En framtida forskningsfråga kvar att besvara är hur stort mervärde det finns i att öka arbetsinsatsen för att i högre utsträckning placera GROT-vältor i anslutning till bilväg och därigenom kunna öka användningen av lastbilshugg.

Referenser

Tryckta referenser

- Andersson, G., Flisberg, P., Lidén, P. and Rönnqvist, M. 2007. RuttOpt – A decision support system for routing logging trucks. *Canadian Journal of Forest Research*. 38: 1784-1796.
- Ashton, S., Holzleitner, F., Kanzian, C. and Stampfer, K. 2009. Regional Energy Wood Logistics– Optimizing Local Fuel Supply. *Silva Fennica* 43(1): 113–128.
- Bergdahl, A., Örtendahl, A. and Fjeld, D. 2003. The economic potential for optimal destination of round wood in north Sweden - effects of planning horizon and delivery precision. *International Journal of Forest Engineering* vol. 14, no. 1.
- Berglund, M. och Larsson, J. 2012. En jämförande kostnadsanalys av maskinsystem för upparbetning och transport av GROT. Arbetsrapport – Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning nr 366. Umeå.
- Björheden, R., Eliasson, L. and Thorsen, A. 2010. Growing Energy – The development of forest energy in Sweden. Efficient Forest Fuel Supply System – Composite Report from a Four Year RochD Program 2007-2010. The Forestry Research of Sweden: Skogforsk, Sweden.
- Björheden, R. and Eriksson, L.O. 1990. The effects on operational planning of changes in energy content of stored wood fuels. *Scandinavian Journal of Forest Research*. Vol 5, pp. 255-261.
- Carlsson, D. and Rönnqvist, M. 1998. Tactical planning of forestry transportation with respect to backhauling. *Lith.mat.r-1998*.
- Eliasson, L. 2010. Procurement systems for logging residues. Efficient Forest Fuel Supply System – Composite Report from a Four Year RochD Program 2007-2010. The Forestry Research of Sweden: Skogforsk, Sweden.
- Energimyndigheten. 2009. Sveriges Nationella Handlingsplan för främjande av förnybar energi enligt Direktiv 2009/28/EG och Kommissionens beslut av den 30.6.2009.
- Eriksson, L. O. and R. Björheden, R. 1989. Optimal storing, transport and processing for a forest-fuel supplier. *European Journal of Operational Research*, vol. 43, no. 1, pp. 26–33.
- Flisberg, P., Frisk, M. and Rönnqvist, M. 2012. FuelOpt: a decision support system for forest fuel logistics. *Journal of the Operational Research Society*. pp. 1-13.
- Flisberg, P., Frisk, M. och Rönnqvist, M. 2009. Krönt Vägval hittar smartaste vägen från skog till industri. RESULTAT från Skogforsk. Nr. 6.
- Forsberg, M., Frisk, M., and Rönnqvist, M. 2005. FlowOpt – a decision support tool for strategic and tactical transportation planning in forestry. *International Journal of Forest Engineering*, vol. 16, no. 2, pp. 101–114.

- Freppaz, D., Minciardi, R., Robba, M., Rovatti, M., Sacile, R. and Taramasso, A. 2004. Optimizing forest biomass exploitation for energy supply at a regional level. *Biomass and Bioenergy*, 26. pp. 15–25.
- Gunnarsson, H., Rönnqvist, M. and Lundgren, J. 2004. Supply chains modeling of forest fuel. *European journal of operational research*, vol. 158, pp. 103-123.
- Haapaniemi, M. 2011. En generell processkartläggning av leveransplanering av biobränsle i Sverige. Arbetsrapport – Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning, nr 341. Umeå.
- Haksever, C., Render, B., Russel, R., and Murdick, R. 2000. *Vehicle routing and scheduling. Sevcice management and operations*. Prentice hall.
- Karanta, I., Jokinen, O., Mikkola, T., Savola, J. and Bounsaythip, C. 2000. Requirements for a vehicle routing and scheduling system in timber transport. *Proceedings from 1st World Symposium on Logistics in the forest sector*. Timber Logistic Club.
- Linnainmaa, S., Savola, J. and Jokinen, O. 1995. EPO a knowledge based system for wood procurement management. *Proceedings of the 7th Innovative Applications of Artificial intelligence Conference*. pp. 107-113.
- Lukka, A. 1994. *Materials Acquisition Planning Models*. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu.
- Palander, T., Väätäinen, J., Laukkanen, S. and Malinen, J. 2004. Modeling Backhauling on Finnish Energy-Wood Network Using Minimizing of Empty Routes. *International Journal of Forest Engineering*. vol. 15 no. 2.
- Savola, J. Rummumainen, H. and Jokinen, O. 2004. KUORMA: a collection of APS-algorithms for forest in wood transport. *ERCIM News No 56*.
- Shapiro, F. 2001. *Modeling the Supply Chain*. Duxbury. ISBN: 0-495-12609-8.
- Skogsstyrelsen 2012. *Swedish Statistical Yearbook of Forestry 2012*. Huskvarna: NRS Tryckeri AB.
- Weintraub, A., Epstein, R., Morales, R., Seron, J. and Traverso. 1996. A truck scheduling system improves efficiency in the forest industries. *Silva Fennica*, vol. 26, no. 4, pp. 1–12.
- Zhu, X., Li, X., Yao, Q. and Chen, Y. 2011. Challenges and models in supporting logistics system design for biomass-to-bioenergy industry. *Bioresource Technology* 102, pp. 1344-1351.
- Örtendahl, A. 2001. *Analys av massavedsflöden med transportoptimeringsmodellen NETRA*. Arbetsrapport – Sveriges lantbruksuniversitet. Skogsteknologi nr 50. Umeå.

Elektroniska referenser

- SDC-Skogsnäringens Datacentral. 2013a. [Online] Tillgängligt: <http://www.sdc.com> [2013-01-11]
- SDC-Skogsnäringens Datacentral. 2013b. [Online] Tillgängligt: <http://www.sdc.se/default.asp?id=1061> [2013-02-11]

Skogforsk. 2013. Sönderdelning och transport av skogsbränsle. [Online] Tillgängligt: <http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/skogsbransle/Grenar-och-toppar/Transport-av-skogsbransle/Transport-av-skogsbransle> [2013-02-12]

Personlig kommunikation

Fjeld, D. 2012. Universitetslektor, Institutionen för skogshushållning. SLU, Umeå

Frisk, M. 2012. Forskare, Skogforsk, Box 3, Sävar.

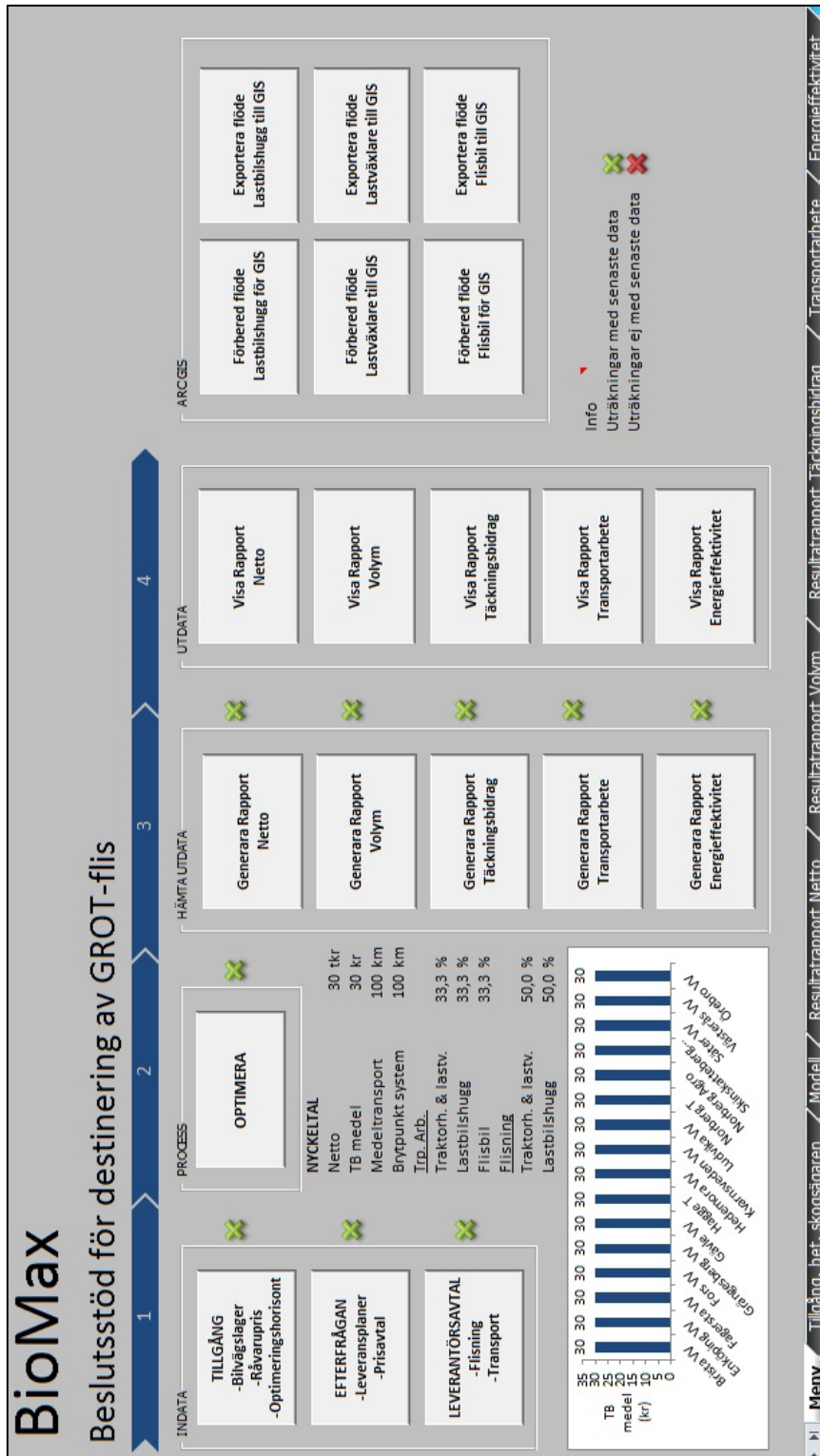
Holm, B. 2012. Råvaruchef, AB Karl Hedin, Vansjövägen 6, Krylbo.

Johansson, A. 2012. Affärsansvarig Biobränsle, AB Karl Hedin, Vansjövägen 6, Krylbo.

Strömberg, S. 2012. Produktionsledare Biobränsle, AB Karl Hedin, Lastargatan 4, Krylbo.

Bilagor

Bilagorna syftar till att visualisera mjukvaran BioMax och innehåller endast fiktiv data.



Bilaga 1. BioMax, kontrollpanel.
Appendix 1. BioMax, control panel.

Kostnad, flisning & transport

	Fast kostnad (kr/ton)	Rörlig kostnad (kr/ton*km)	Uppställningsavgift (kr)	Tillägg/Avdrag (kr/ton)
Traktorhugg	100		1000	0
Lastväxlare	50	1	0	0
Lastbilshugg	100	1,5	0	0
Flisbil	10	0,5	0	0

Medelvältas storlek m3s

Verkställ Stäng

Lastbilshugg < **113,1** km < Traktorhugg och lastväxlare

Bilaga 2. Användarformulär för inmatning av kostnadsuppgifter för flisning och transport.
Appendix 2. User form to input cost data for chipping and transport.

Industri

	Pris (kr/MWh)	Leveransplan (MWh)	Tillåten underleverans (%)	Tillåten överleverans (%)
Brista, Fortum	200	2000	0	0
Enköping, Ena	200	2000	0	0
Fagersta, VB Energi	200	2000	0	0
Fors, Stora Enso	200	2000	0	0
Grängesberg Energi	200	2000	0	0
Gävle Energi	200	2000	0	0
Hagge Terminal (hanteringskostnad)	-10	2000	0	0
Hedemora energi	200	2000	0	0
Kvarnsveden	200	2000	0	0
Ludvika, VB Energi	200	2000	0	0
Norberg Terminal (hanteringskostnad)	-10	2000	0	0
Norberg Agro	200	2000	0	0
Skinnskatteberg	200	2000	0	0
Säter, Hedemora Energi	200	2000	0	0
Västerås, Mälardalens Energi	200	2000	0	0
Örebro, Eon	200	2000	0	0

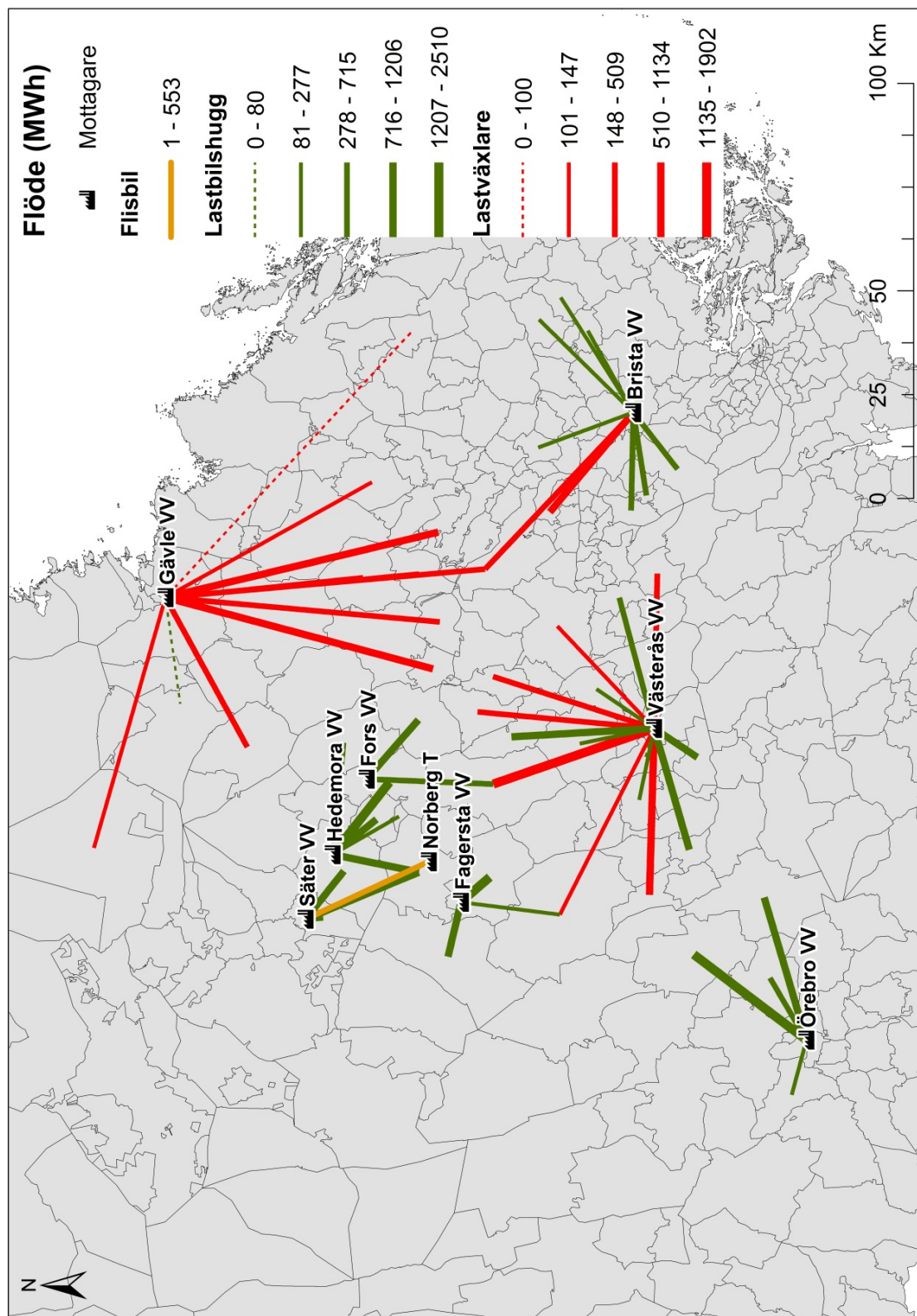
Spar och stäng

Bilaga 3. Användarformulär för inmatning av data kopplat till efterfrågenoder.
Appendix 3. User Form to input data connected to the demand nodes.

Församling	Kod	Tillgängligt (MWh)	Tillgång (m ³ s)	Inköpskostnad (kr/MWh)
Adolfsberg	188031	86	100,00	100
Almby	188004	86	100,00	100
Almunge	038031	86	100,00	100
Alsike	033005	86	100,00	100
Alunda	038209	86	100,00	100
Arbogabygden	198401	86	100,00	100
Asker	188015	86	100,00	100
Aspeboda	208004	86	100,00	100
Avesta	208401	86	100,00	100
Axberg	188013	86	100,00	100
Balingsta	038009	86	100,00	100
Bjursås	208011	86	100,00	100
Björklinge	038026	86	100,00	100
Boglösa	038111	86	100,00	100
Bomhus	218009	86	100,00	100
Bro	013901	86	100,00	100
By	208403	86	100,00	100
Bälingebygdens församling	038021	86	100,00	100
Dalby	038011	86	100,00	100
Danmark	038005	86	100,00	100
Dannemora	038213	86	100,00	100
Dingtuna	198009	86	100,00	100
Ed	011401	86	100,00	100
Edsbro-Ununge	018808	86	100,00	100
Ekeby	038210	86	100,00	100

Bilaga 4. Gränssnitt för inmatning av data kopplat till tillgångsnoder. Orange färg indikerar cell för datainmatning.

Appendix 4. Interface for input data connected to supply nodes. Orange color indicates cell for data entry.



Bilaga 5. Karta genererad i ArcGIS via BioMax. Föreslagna transportslag visualiserar i olika färg. Flöden redovisas som streck i olika tjocklek beroende på föreslagen transporterad energimängd.
Appendix 5. Map generated in ArcGIS using BioMax. Suggested transport systems is visualized in different color. Flows shows that stroke in different thicknesses depending on the proposed transported amount of energy.

FLÖDEN (MWh)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Summa	Mottagare	Volym (MWh)
Tillgångsnod 1	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	160	1	1000
Tillgångsnod 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1905	0	1905	2	2000
Tillgångsnod 3	0	0	0	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56	3	3000
Tillgångsnod 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	196	196	4	4000
Tillgångsnod 5	990	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	990	5	5000
Tillgångsnod 6	640	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	640	6	6000
Tillgångsnod 7	0	0	0	277	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	277	7	7000
Tillgångsnod 8	528	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	528	8	8000
Tillgångsnod 9	591	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	594	9	9000
Tillgångsnod 10	0	2697	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2697	10	10000
Tillgångsnod 11	0	0	0	326	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	326	11	11000
Tillgångsnod 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	484	3572	4057	12	12000
Tillgångsnod 13	0	361	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	361	13	13000
Tillgångsnod 14	0	0	0	1565	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1565	14	14000
Tillgångsnod 15	322	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	322	15	15000
Tillgångsnod 16	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	16	16000
Tillgångsnod 17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	361	361		
Tillgångsnod 18	0	0	0	205	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	205		
Tillgångsnod 19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	554	0	0	554		
Tillgångsnod 20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	282	0	282		
Tillgångsnod 21	0	0	0	0	592	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	592		
Tillgångsnod 22	0	0	0	0	0	0	0	75	0	0	0	0	0	0	0	0	75		
Tillgångsnod 23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	192	0	192		
Tillgångsnod 24	590	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	590		
Tillgångsnod 25	158	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	158		
Tillgångsnod 26	0	0	0	0	141	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	141		
Tillgångsnod 27	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120		
Tillgångsnod 28	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49		
Tillgångsnod 29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	157	0	157		
Tillgångsnod 30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	677	0	677		
Summa																			136000

Bilaga 6. Gränssnitt för flödesrapport genererad via BioMax. X-axeln representerar efterfrågnoder och Y-axeln tillgångsnoder.

Appendix 6. Interface for flow report generated in BioMax. X-axis represents demand nodes and Y-axis supply nodes.

RESULTATRAPPORT (kr)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Summa	Mottagare	Netto (kr)
Tillgångsnod 1	19159	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19159	1	10000
Tillgångsnod 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	164489	0	0	164489	2	20000
Tillgångsnod 3	0	0	0	4982	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4982	3	30000
Tillgångsnod 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18519	18519	4	40000
Tillgångsnod 5	96674	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96674	5	50000
Tillgångsnod 6	71757	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71757	6	60000
Tillgångsnod 7	0	0	0	24781	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24781	7	70000
Tillgångsnod 8	50989	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50989	8	80000
Tillgångsnod 9	51935	0	0	0	0	151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52086	9	90000
Tillgångsnod 10	0	317837	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	317837	10	100000
Tillgångsnod 11	0	0	0	24246	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24246	11	110000
Tillgångsnod 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	120000
Tillgångsnod 13	0	38718	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37797	298808	331605	13	130000
Tillgångsnod 14	0	0	0	146065	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	146065	14	140000
Tillgångsnod 15	36344	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36344	15	150000
Tillgångsnod 16	7037	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7037	16	160000
Tillgångsnod 17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34260	34260	Summa	1360000
Tillgångsnod 18	0	0	0	18119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18119		
Tillgångsnod 19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28770	0	0	28770		
Tillgångsnod 20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29676	0	29676		
Tillgångsnod 21	0	0	0	0	0	49142	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49142		
Tillgångsnod 22	0	0	0	0	0	0	0	7279	0	0	0	0	0	0	0	0	7279		
Tillgångsnod 23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15410	0	15410		
Tillgångsnod 24	68237	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68237		
Tillgångsnod 25	16622	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16622		
Tillgångsnod 26	0	0	0	0	0	11574	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11574		
Tillgångsnod 27	13491	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13491		
Tillgångsnod 28	6030	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6030		
Tillgångsnod 29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15584	0	15584		
Tillgångsnod 30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60543	0	60543		

Bilaga 7. Gränssnitt för resultatrapport genererad via BioMax. X-axeln representerar efterfrågenoder och Y-axeln tillgångsnoder.

Appendix 7. Interface for result report generated in BioMax. X-axis represents demand nodes and Y-axis supply nodes.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
TÄCKNINGSBIDRAG (kr/MWh)	119	92	30	36	21	45	-189	31	-182	18	-174	-165	34	26	70	22
Tillgångsnod 1	58	72	56	35	48	17	-168	37	-177	40	-159	-150	72	29	86	85
Tillgångsnod 2	60	75	85	89	64	51	-142	89	-134	63	-117	-108	78	80	77	36
Tillgångsnod 3	46	51	52	29	61	10	-166	33	-174	47	-163	-154	66	29	65	94
Tillgångsnod 4	98	83	39	50	27	63	-183	44	-175	23	-163	-155	36	34	63	19
Tillgångsnod 5	112	100	30	33	22	31	-189	30	-183	18	-175	-166	37	25	78	27
Tillgångsnod 6	60	70	70	90	50	62	-156	82	-142	49	-131	-122	64	72	69	28
Tillgångsnod 7	97	87	43	52	28	61	-182	45	-174	25	-161	-152	42	36	70	22
Tillgångsnod 8	88	71	26	34	17	67	-193	30	-182	14	-179	-171	28	24	50	11
Tillgångsnod 9	102	118	48	51	33	38	-179	47	-173	28	-156	-148	56	38	97	38
Tillgångsnod 10	79	90	62	74	40	60	-165	67	-156	40	-140	-132	56	57	82	29
Tillgångsnod 11	53	64	61	37	64	15	-157	41	-172	51	-154	-145	75	35	78	82
Tillgångsnod 12	94	107	54	59	35	47	-173	55	-168	32	-149	-140	60	46	92	35
Tillgångsnod 13	62	76	80	93	58	56	-147	85	-138	58	-123	-114	72	76	77	32
Tillgångsnod 14	113	89	31	36	21	47	-189	31	-182	18	-173	-165	33	26	67	21
Tillgångsnod 15	109	93	34	41	24	56	-186	35	-180	20	-169	-160	35	28	71	23
Tillgångsnod 16	52	62	47	26	51	11	-174	29	-180	37	-168	-159	63	24	76	95
Tillgångsnod 17	59	73	82	88	61	50	-145	92	-131	60	-120	-111	75	83	75	34
Tillgångsnod 18	27	32	48	26	79	16	-144	42	-147	69	-167	-158	49	52	38	32
Tillgångsnod 19	74	91	70	56	51	28	-158	53	-169	47	-143	-134	78	44	105	62
Tillgångsnod 20	50	41	24	36	21	83	-191	36	-169	17	-181	-172	22	30	34	-2
Tillgångsnod 21	54	64	79	80	63	52	-143	97	-126	62	-125	-115	72	88	65	32
Tillgångsnod 22	83	91	56	68	36	63	-171	61	-162	34	-146	-138	53	51	80	28
Tillgångsnod 23	116	83	26	28	16	38	-194	26	-187	13	-180	-171	28	21	61	17
Tillgångsnod 24	105	69	18	20	8	29	-202	18	-195	5	-188	-179	20	13	47	9
Tillgångsnod 25	50	46	43	62	34	82	-176	61	-148	30	-159	-150	36	55	43	12
Tillgångsnod 26	112	106	35	38	25	32	-186	34	-180	21	-170	-161	43	28	84	30
Tillgångsnod 27	122	91	28	32	19	42	-191	28	-184	15	-178	-169	32	23	69	22
Tillgångsnod 28	82	98	66	68	45	45	-162	64	-159	43	-139	-130	72	55	99	41
Tillgångsnod 29	59	76	57	38	46	18	-166	38	-176	42	-158	-148	74	30	89	75
Tillgångsnod 30	66	84	65	46	34	23	-158	46	-171	50	-150	-141	81	37	98	73
Tillgångsnod 31																

Bilaga 8. Gränssnitt för täckningsbidragsrapport genererad i BioMax. X-axeln representerar efterfrågenoder och Y-axeln tillgångsnoder.

Appendix 8. Interface for contribution margin report generated in BioMax. X-axis represents demand nodes and Y-axis supply nodes.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Summa
Transportarbete (ton*km)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3789
Tillgångsnod 1	0	0	0	0	0	3789	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3789
Tillgångsnod 2	0	0	0	0	0	20191	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20191
Tillgångsnod 3	0	0	0	0	0	20967	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20967
Tillgångsnod 4	67527	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67527
Tillgångsnod 5	0	0	0	0	0	2864	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2864
Tillgångsnod 6	0	0	0	0	0	10218	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10218
Tillgångsnod 7	24116	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24116
Tillgångsnod 8	0	0	0	0	0	2553	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2553
Tillgångsnod 9	0	0	0	0	0	33480	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33480
Tillgångsnod 10	12743	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12743
Tillgångsnod 11	0	0	0	0	0	12502	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12502
Tillgångsnod 12	0	0	0	0	0	2748	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2748
Tillgångsnod 13	11289	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11289
Tillgångsnod 14	27753	0	0	0	0	56731	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	84484
Tillgångsnod 15	0	0	0	0	0	22924	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22924
Tillgångsnod 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18005
Tillgångsnod 17	0	0	0	0	0	0	0	806	0	0	0	0	0	0	0	0	806
Tillgångsnod 18	4922	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4922
Tillgångsnod 19	7440	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7440
Tillgångsnod 20	14907	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14907
Tillgångsnod 21	2778	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2778
Tillgångsnod 22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	133
Tillgångsnod 23	2432	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2432
Tillgångsnod 24	12567	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12567
Tillgångsnod 25	2207	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2207
Tillgångsnod 26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46396
Tillgångsnod 27	1604	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1604
Tillgångsnod 28	0	0	0	0	3751	0	0	4423	0	0	0	0	0	0	0	0	8174
Tillgångsnod 29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2106
Tillgångsnod 30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2106	0	0	4484

Mottagare	Transportarbete (ton*km)
1	1000
2	2000
3	3000
4	4000
5	5000
6	6000
7	7000
8	8000
9	9000
10	10000
11	11000
12	12000
13	13000
14	14000
15	15000
16	16000
Summa	136000

Transportarbete	(ton*km)	%
Traktorhastv	309470	47,6
Lastbilshugg	340533	52,4
Flisbil	22924	3,5

Viktvägt medeltransportavstånd (km)	
Traktorhastv	105,6
Lastbilshugg	32,2
Flisbil	117,0

Antal (MWh)		%
Flisning	49,1	
Traktorhastv	8275	21,7
Lastbilshugg	29861	78,3

Bilaga 9. Gränssnitt för transportarbetsrapport genererad i BioMax. X-axeln representerar efterfrågenoder och Y-axeln tillgångsnoder.
Appendix 9. Interface for transportwork report generated in the BioMax. X-axis represents demand nodes and Y-axis supply nodes.

Energieffektivitet (kWh diesel/MMWh GROT-flis)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Tillgångsnod 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0
Tillgångsnod 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 8	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 12	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 14	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 16	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 17	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 18	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 20	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
Tillgångsnod 23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 25	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 26	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 28	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tillgångsnod 30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Total energiförbrukning (MMWh) 415
Medel (kWh/MMWh GROT-flis) 11

Bilaga 10. Gränssnitt för energieffektivitetsrapport genererad i BioMax. X-axeln representerar efterfrågenoder och Y-axeln tillgångsnoder.
Appendix 10. Interface for energy efficiently report generated in BioMax. X-axis represents demand nodes and Y-axis supply nodes.