



# **Flödesoptimering av timmer med hänsyn till sågverkens lönsamhet -En fallstudie av Berg Timber AB**

*Flow optimization of timber with respect to the sawmills profit-  
A case study of Bergs Timber AB*

**Kenny Svahn**

**Arbetsrapport 24 2015  
Examensarbete 30hp A2E  
Jägmästarprogrammet**

**Handledare:  
Dimitris Athanassiadis**



# **Flödesoptimering av timmer med hänsyn till sågverkens lönsamhet -En fallstudie av Berg Timber AB**

*Flow optimization of timber with respect to the sawmills profit-  
A case study of Bergs Timber AB*

**Kenny Svahn**

**Nyckelord:** Logistik, linjärprogrammering, kolumngenerering

Arbetsrapport 24 2015

Examensarbete i skogshushållning vid Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi, 30 hp  
EX0772, A2E

Jägmästarprogrammet

Handledare: Dimitris Athanassiadis, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

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

---

Sveriges lantbruksuniversitet

Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2015

Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

## **Förord**

Denna studie är ett examensarbete, motsvarande 30 hp, inom skogshushållning som utförts vid institutionen för biomaterial och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet, skogsfakulteten Umeå.

Uppdragsgivare var Bergs Timber AB.

Jag vill tacka Fredrik Säaw, kontaktperson på Bergs Timber AB. Jag vill särskilt tacka min handledare Dimitris Athanassiadis för ett genuint intresse och många goda råd. Jag vill också tacka Emanuel Erlandsson, institutionen för biomaterial och teknologi, för att ha utgjort ett fantastiskt stöd under hela arbetets gång.

Avslutningsvis vill jag även tacka mina kurskamrater Axel Sandahl och Oskar Gustavsson för att ha utgjort ett bra bollplank för många diskussioner.

## Sammanfattning

Den senaste krisen i sågverksindustrin manar till nytänkande. Tidigare forskning inom sågverks lönsamhet och flödesoptimering av timmer har främst bedrivits på var sitt håll. Värdföretaget Bergs Timber AB äger två sågverk där timmer i diameterklass 18-20cm kan sågas på båda sågverken men med olika resultat.

Syftet med studien var att undersöka hur ökade leveranskrav, ökade transportkostnader, prispförändringar för sidobrädor och sågverksflis samt att identifiera och kvantifiera eventuella ytterligare faktorer.

Metoden inkluderade kalkylering av vinsten vid sågning på respektive sågverk, därefter en flödesoptimering med målet att maximera den summerade vinsten minus transportkostnaden. Problemet modellerades som en linjärprogrammeringsmodell och löstes i Excell Open solver med principen för kolumngenerering. En kvantifiering av enskilda faktorerers inverkan på den optimala flödesplaneringen med *delta potential supply distance* ( $\Delta$ PSD).

Resultaten pekar på skillnader mellan hur ökade leveranskrav, ökade transportkostnader, prispförändringar för sidobrädor och sågverksflis påverkar en optimal flödesplanering av timmer. Särskilt intressant var de stora skillnaderna mellan tall och gran.

*Skillnaden i sågkostnad på sågverken samt kundernas efterfrågan på sågade varor* identifierades som de faktorer som gavs störst påverkan på  $\Delta$ PSD, en ökning med 76-79 respektive 101km.

$\Delta$ PSD erbjöd en möjlighet att kvantifiera en eller flera faktorerers effekt på den optimala flödesplaneringen oavsett sågverkens geografiska placering i förhållande till varandra.

Resultaten pekar på att en ökad integration mellan sågning vid sågverk och flödesoptimering av timmer kan vara ett sätt för att nå bättre lönsamhet.

Nyckelord: Logistik, linjärprogrammering, kolumngenerering

## Abstract

The latest crises in the sawmill industry calls for rethinking. Recent research on profitability at sawmills and flow optimization of timber has mostly been conducted separately. The company Bergs Timber AB owns two sawmills. Timber in the diameter class 18-20cm can be sawn at both sawmills but with different results.

The purpose of this study was to examine how increased delivery requirements, increased transport costs, changes of the market price for sideboards as wells as woodchips and also to identify and quantify other possible factors.

The methods included calculation of the profit when sawing at each sawmill and a flow optimization with the goal to maximize the profit minus transport costs. The problem was modeled as a linear programming model and was solved in Excel Open solver using column generation. A quantification of the individual factors effect on the *delta potential supply distance* ( $\Delta PSD$ ) was done also.

The results from the flow optimization shows various results for how increased delivery requirements, increased transport costs, changes of the market price for sideboards as wells as woodchips effects the optimal flow of timber, especially interesting was the large differences between pine and spruce.

*The difference in sawing cost* at each sawmills and *the customers demand for sawed wood products* was identified to have the largest impact on the  $\Delta PSD$ , an increase with 76-79 and 101 km, respectively.

$\Delta PSD$  made it possible to quantify one or several factors effect on the optimal flow planning regardless of the sawmills geographic location relatively to each other.

The results point towards that an increased integration between sawing at sawmills and flow optimization of timber possibly can provide an increased profitability.

Key words: Logistics, linear programming, column generation

## Innehållsförteckning

1	Inledning.....	7
1.1	Bakgrund.....	7
1.2	Råvarutransport.....	7
1.3	Råvaruutnyttjande och lönsamhet vid sågning .....	8
1.4	Tidigare studier .....	9
1.4.1	Flödesoptimering av rundvirke.....	9
1.4.2	Postningsberäkningar och postningsoptimering.....	10
1.5	Syfte .....	11
1.5.1	Mål.....	12
1.5.2	Avgränsning .....	12
2	Material och Metoder .....	13
2.1	Fallstudien- Bergs Timber AB.....	13
2.1.1	Normaltimmersågverket i Orrefors .....	13
2.1.2	Klentimmersågverket i Mörlunda.....	14
2.1.3	Nuvarande flödesplanering.....	14
2.1.4	Nuvarande sågning av diameterklass 18-20cm .....	14
2.2	Scenarion .....	14
2.3	Linjärprogrammering.....	16
2.3.1	LP Modell.....	16
2.4	Transportkostnadsberäkning ( $TC_{ij}$ ).....	16
2.4.1	Virkesordrar.....	16
2.4.2	Beräkning av medeltransportavstånd .....	17
2.4.3	Transportkostnadstariffer.....	17
2.5	Beräkning av tillgänglig volym timmer ( $S_i$ ) .....	18
2.6	Beräkning av genomsnittliga nettovärdesutbyten ( $NYV_j$ ).....	19
2.6.1	Skapandet av provstockar.....	19
2.6.2	Beräkning av genomsnittlig sågkostnad ( $SC_j$ ).....	20
2.6.3	Prislistor för sågade trävaror, sågverksflis och sågspån .....	21
2.6.4	Postningsanalys .....	21
2.7	Flödesoptimering av diameterklass 18-20cm .....	22
2.8	Beräkning leveranskravets ( $DR_j$ ) effekt på vinsten .....	22

2.9	Identifiering och kvantifiering av ytterligare faktorer .....	23
3	Resultat .....	25
3.1	Genomsnittliga nettovärdesutbyten (NYV <sub>j</sub> ) .....	25
3.2	Flödesoptimering .....	26
3.2.1	Flödesoptimerad volym (Q <sub>ij</sub> ) .....	26
3.2.2	Flödesoptimering scenario A-O, tall .....	26
3.2.3	Flödesoptimering scenario A-O, gran .....	27
3.3	Leveranskravet (DR <sub>j</sub> ) effekt på den maximerade vinsten.....	27
3.4	Identifiering och kvantifiering av ytterligare faktorer .....	28
4	Diskussion .....	30
4.1	Datamaterial och databearbetning.....	30
4.2	Fallstudiens egenskaper .....	30
4.3	Metod .....	31
4.3.1	Val av scenarion .....	31
4.3.2	Skapandet av provstockar, postningsanalys och nettovärdesutbytnsberäkning .....	31
4.3.3	Linjärprogrammering, kolumngenerering, aggregering och flödesoptimering	32
4.4	Tolkning av resultatet .....	34
4.4.1	Genomsnittliga nettovärdesutbyten (NYV <sub>j</sub> ) .....	34
4.4.2	Flödesoptimering .....	34
4.4.3	Leveranskravets (DR <sub>j</sub> ) effekt på den maximerade vinsten.....	35
4.4.4	Identifiering och kvantifiering (ΔPSD) .....	35
4.5	Jämförelse med tidigare studier .....	36
4.6	Förslag på framtida studier .....	36
4.7	Slutsatser .....	37
	Referenslista .....	38
	Litteratur .....	38
	Vetenskapliga skrifter.....	38
	Övriga Skrifter.....	40
	Webb.....	40
	Personlig kommunikation.....	40



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Den svenska skogsindustrin är världens tredje största exportör av massa, papper och sågade trävaror. Exportandelen av sågverksindustrins produktion uppgår till 75 %. (Skogsindustrierna 2014). 2012 producerades 15,9 miljoner m<sup>3</sup> sågade trävaror i Sverige, varav 11,8 miljoner m<sup>3</sup> gick på export (Skogsstyrelsen 2013). 2013 uppgick sågverksindustrins andel av den globala exportmarkanden för sågade trävaror till 12 % (Skogsindustrierna 2014).

Den globala efterfrågan på sågade trävaror har varit svar de senaste åren (Skogsstyrelsen 2013), men branschen talar om en nylig uppgång (Såg i Syd 2014a, Såg i Syd 2014b, Skogsindustrierna 2013a). Samtidigt var priset på timmerråvara fortsatt högt (Skogforsk 2013). Svensk valuta (SEK) förblir alltså stark i jämförelse med USD, GBP och EURO (Sveriges officiella statistik 2014). En stark inhemska valuta slår hårt mot exportberoende branscher då kostnader betalas i inhemska valuta och intäkter fås i andra valutor. Det gör sågverksindustrin särskilt sårbar när svensk valuta är stark, råvarupriserna höga och efterfrågan på exportmarknaden svag. Massa och pappersindustrin har lidit samma öde. Det har pressat sågverksindustrin ytterligare med sjunkande priser på biprodukter från sågverken som sedan säljs vidare till massa och pappersindustrin (Skogsindustrierna 2012). Sågverksindustrin lider av låg lönsamhet och har som följd drabbats av flera konkurser, nedläggningar och uppsägningar (Andersson 2011). Det talas om en sågverkskris, enligt vissa analytiker den värsta på 40 år. Analytikerna menar dock att de sågverksaktörer med ekonomisk uthållighet, effektiv produktion och hög förädlingsgrad går ut ur krisen som vinnare (Skogsindustrierna 2012).

Den svenska sågverksindustrin har under lång tid genomgått en omfattande strukturomvandling. En tydlig historisk trend har mynnat ut i färre och större produktionsenheter. Råvarutillgång, produktionsekonomi, skalekonomi, kapitaltillgång, efterfrågan på träprodukter samt logistik har varit av betydelse för strukturomvandlingen (Fohlin & Silver 1997). De enskilda faktorernas respektive inverkan på sågverksindustrins strukturomvandling är synnerligen komplex. Ett exempel är att större och färre enheter kan ge en positiv effekt på skalekonomin, men en negativ effekt på logistiken med längre transportavstånd som följd (Fohlin & Silver 1997). Sågverkskrisen kan ha påskyndat strukturomvandlingen ytterligare (Andersson 2011). Det rådande krisläget och den pågående strukturomvandlingen manar till nytänkande för en förbättrad lönsamhet.

## 1.2 Råvarutransport

Den svenska skogsindustrin är transportintensiv. 2011 stod skogs- och skogsindustriprodukter för 21 % av all inrikes transport med lastbil och tåg. Samma år uppgick det totala inrikes transportarbetet för rundvirke till 5183 miljoner ton km. Andelen rundvirke som transporteras med tåg ökar stadigt, men det dominerade transportmedlet är

alltjämt lastbil (Skogsstyrelsen 2013). Transportkostnader utgör en stor del av skogsindustrins kostnader för råvaruanskaffning. För sågverksindustrin utgör transportkostnaderna ca 15 % av anskaffningskostnaden för råvaran, fritt industri. Med fritt industri avses summan av alla kostnader som förknippats med råvaran fram tills dess att den befinner sig på industriplanen. Transportkostnadens andel av råvaruförsörjningskostnaden är lägre för sågtimmer (15 %) än för massaved (20 %) (Brunberg 2010; Brunberg 2011; Brunberg; 2013; Brunberg 2014). Det kan kanske förklaras av lägre inköpskostnad för massaved vilket medför att transportkostnaden utgör en större andel av råvaruförsörjningskostnaden. Antalet massa och pappersindustrier är också betydligt färre, men förbrukar mer råvara per enhet, än sågverken (Skogsindustrierna 2014). Massa och pappersindustrierna är därtill mindre geografiskt spridda, vilket i sin tur kan ge längre medeltransportavstånd och därmed högre transportkostnader för råvaran.

Det senaste decenniet har präglats av ökade drivmedelskostnader. Det kan vara en del av förklaringen till de kraftigt ökade transportkostnaderna för skogsbruket (Brunberg 2013). Ökade transportkostnader skärper kraven på effektivare logistiklösningar. Vid sidan av rent ekonomiska motiv finns även miljörelaterade aspekter. Branschorganisationen Skogsindustrierna har antagit ett branschmål om att minska transporterens utsläpp av CO<sub>2</sub> med 20 % till år 2020 (Skogsindustrierna 2013b).

### ***1.3 Råvaruutnyttjande och lönsamhet vid sågning***

Råvaruförsörjningskostnaden utgör en stor andel av skogsindustrins kostnader. En siffra som framhålls av branschen är ca 70 %. Lindholm (2006) visade att råvaruförsörjningskostnaden, fritt industri, uppgick till ca 63 % för sågverksindustrin. I råvaruförsörjningskostnader ingår inköp av timmer, transport och administration. Sågverksindustrins lönsamhet är därför knuten till hur väl timmeråvaran utnyttjas (Lycken m.fl. 2009).

Beroende på sågteknik, kringutrustning och råvarans egenskaper kan en stock sågas på olika sätt (Nylinder & Fryk 2011). Sågning av en barkad stock resulterar i flera olika produkter; centrumutbyte, sidobrädor, sågverksflis och sågspån. Ibland omnämns även den sågade varans krympning som biprodukt, detta för att ge ett bättre kalkylunderlag. (Tunes m.fl. 2008). Grönlund (1992b) myntade begreppet *sågverksparadox*en, vilket anspelar på den höga andelen timmerråvara som blir mer eller mindre oönskade biprodukter. Begreppet *joint production*-samproduktion används för att beskriva när en input resulterar i flera olika outputs. Sågning av timmer är ett exempel på *joint production*. Centrumutbyte och sidobrädor är huvudprodukter- den sågade trävaran. Sågverksflis och sågspån är biprodukter. Ställningstagandet kan skilja sig åt beroende på synen på produkternas respektive nytta.

Nylinder & Fryk (2011) definierade begreppet *postning* som det mönster en stock sågas i. *Postningskalkyler* är volyms-, kvalitets- och värdekalkyler för postningar. Utfallet av centrumutbyte och sidobrädor benämns *sågutbyte* (Nylinder & Fryk 2011). En volymsberäkning resulterar i ett *volymutbyte*. Grönlund (1992b) definierade *utbyte* som

det sågade virkets volym som andel av timrets verkliga volym och *topputbyte*, som det sågade virkets volym som andel av timrets toppcylindervolym. *Utbytet* är applicerbart på timmer som mäts in i kubikmeter fast under bark ( $m^3_{fub}$ ). *Toppoutbytet*s användning grundar sig att kubikmeter toppmätt under bark ( $m^3_{toub}$ ) alltså är ett vanligt handelsmått för timmer.

Volymsutbyte fångar endast utfallet av den sågade varan. Ur ett historiskt perspektiv betingade bakar, ribb och sågspån ett lågt värde. Då var volymsutbytet troligen ett fullgott nyckeltal för att uttrycka hur väl råvaran utnyttjades. Volymsutbytet beskriver dock inte den sågade varans värde. Volymsutbytet beskriver inte heller värdet på biprodukterna. Lindholm (2006) visade på att köpsågverkens volymsutbyte (47,9%) var något högre än skogsägareföreningssågverkens volymsutbyte (47,3%), som i sin tur var högre än de bolagsägda sågverkens volymsutbyte (44,4%). Nylinder & Fryk (2011) menar att ett lägre volymsutbyte på bolagssågverk med integrerad massaindustri kan bero på en annan syn på volymsutbytets betydelse eftersom sågverksflisen används i den egna massaproduktionen. *Kvalitetsutbyte* anger den sågade varans egenskaper (Nylinder & Fryk 2011). För att uppnå ett visst kvalitetsutbyte kan avkall göras på volymsutbytet. Ett exempel är krav på skarpkantiga centrumutbyten och sidobrädor. Kvalitetsutbytet är likt volymsutbytet vanligtvis av underordnad betydelse. *Värdeutbyte* är ett summerat värde av alla produkter som faller ut vid sågning av en stock. (Nylinder & Fryk 2011). För att uppnå ett högt värdeutbyte kan avkall göras på både volyms och kvalitetsutbytet. För att använda postningskalkyler som beslutsunderlag krävs en helhetskalkyl, där volymsutbyte, kvalitetsutbyte och värdeutbyte integreras med kostnader för sågning (Nylinder & Fryk 2011).

## ***1.4 Tidigare studier***

### **1.4.1 Flödesoptimering av rundvirke**

Tidigare forskning inom råvarutransport och flödesoptimering har huvudsakligen syftat till att minimera transportarbetet och därmed transportkostnaden. Rönnqvist & Carlsson (1998) presenterade tre olika nivåer för transportplanering av skogsråvara: *Strategisk*, *taktisk* och *operativ*. Nivån bestämdes av tidshorisonten för planeringen. I studien, som tillhörde en taktisk nivå, introducerades returflöden som en tillägg till en traditionell transportoptimeringsmodell. Linjärprogrammering och *kolumngenerering* användes som lösningsmetod, vilket innebar att en råvarukälla länkades samman med flera destinationer (industrier och terminaler). Resultatet visade på en stor potential för transportkostnadsbesparingar. Bergdahl, Örtendahl & Fjeld (2003) kvantifierade hur planeringsperiodens längd och krav på leveransprecision påverkade en flödesoptimering. Studien genomfördes på två case. Case 1, där målet var minimering av transportarbete, och case 2, där målet var vinstmaximering. Resultatet visade på en reduceringspotential av transportarbetet med 8-9% och transportkostnaden med 4-5% för case 1. Case 2 resulterade i en vinstökningspotential om 1-4%, dock med ett ökat transportarbete. Vidare så gav lägre krav på leveransprecision en större vinstpotential. Poudžiūnas, Rönnqvist & Fjeld (2004)

använde sig av linjärprogrammering och kolumngenerering för att identifiera förbättringspotentialen för taktisk transportplanering av rundvirke när returflöden togs i beaktning. Resultatet visade på en potential att sänka transportkostnaderna med 7-16%. Den längsta planeringsperioden gav störst besparingspotential.

Örtendahl (2001) utvecklade beslutstödet *NETRA* för destinerings av rundvirke med målet att maximera vinsten. Hänsyn togs till inköpspris för råvara, avsalupris fritt industri, tillgång och efterfrågan samt transportkostnad. Ursprungligen ingick endast massaved i *NETRA*. Mellqvist (2004) vidareutvecklade *NETRA* till att även inkludera timmer. Mellqvist (2004) utförde en känslighetsanalys vilken visade att en längre tidshorisont gav fler potentiella lösningar och därmed en större vinstförbättringspotential. Edlund (2014) vidareutvecklade och validerade *NETRA* för att kvantifiera en teoretisk förbättringspotential med hänsyn till tågtransporter och kvarvarande potential för lastbilstransporter. Resultatet visade på en förbättringspotential om 1,8 % för lastbilstransporter. Bredström m.fl. (2004) använde sig av linjärprogrammering och kolumngenerering för en flödesoptimering av massaved. För att minska komplexiteten gjordes aggregeringar vilket gav en lägre upplösning. Modellen användes i värdföretagets *Supply chain management (SCM)*- råvaruförsörjningsstyrning. Resultatet visade på en stor besparingspotential för råvaruförsörjningen. Rönnqvist & Carlsson (2005) genomförde fem olika projekt med målet att förbättra värdföretagets *SCM*. De visade på vikten av integrationen mellan råvaruförsörjning och produktion i optimeringar likväl som beslutstöd. Integrationen motiverades av lägre kostnader och möjligheten till ett objektivt underlag för diskussioner mellan olika delar av försörjningskedjan. Ett stort implementeringsproblem var datatillgången (Rönnqvist & Carlsson 2005).

Forsberg, Frisk & Rönnqvist (2005) utvecklade *Flow-Opt*, ett beslutstöd för skogsbrukets råvaruförsörjning. *Flow-Opt* kan användas på strategisk och taktisk nivå. Den taktiska nivån inkluderar upptagningsområden, destinerings och returlastpotential. *Flow-Opt* inkluderade ett GIS-baserat kartverktyg för visualisering vilket gav ett bättre användargränssnitt. *Flow-Opt* var ett effektivt beslutsstöd med flexibla och robusta optimeringsmodeller (Forsberg, Frisk & Rönnqvist 2005).

Ranudd (2010) studerade hur förändringar av kraven på råvarudimension påverkade ett optimalt timmerflöde. Vidare kategoriserade författaren timmer vars toppdiameter möjliggjorde sågning på flera sågverk att tillhöra en *fönsterklass*. Resultaten visade på stor besparingspotential för transportkostnaden när dimensionskraven avlägsnades. En ökning (2cm) av "fönstret" gav en besparingspotential om 0,8 %.

#### **1.4.2 Postningsberäkningar och postningsoptimering**

Tidigare forskning inom sågning och postning har främst syftat till en ökad lönsamhet genom bättre råvaruutnyttjande. Lindholm (2006) syftade till att ge en bild av intäkter och kostnader inom svensk sågverksindustri. Resultatet visade på att produktionskostnaderna uppgick till 16 %. Val av sågutrustning pekades som ett sätt att realisera potentialen för ett bättre råvaruutnyttjande och ökad produktivitet. Lindman (2005) undersökte sambandet

mellan ett sågverks volymsutbyte och lönsamhet. Resultaten visade på att ett signifikant samband ej kunde säkerställas och att det fanns ytterligare aspekter som gjorde volymsutbytet otillräckligt som nyckeltal. Täckningsbidrag/minut var enligt Niklasson (2000) ett bra nyckeltal för postningskalkylering då rörliga kostnader ofta är knutna till tid. Rosenquist (2007) menade att i realiteten får postningar med högt täckningsbidrag stå tillbaka till förmån för postningar med högt volymsutbyte. Variationen i produktionskostnaderna för olika postningar hade mindre betydelse än skillnaden i värdeutbyte (Rosenquist 2007).

Tunes, Nyrud & Eikenes (2008) jämförde fyra metoder för att allokera kostnader till de produkter som produceras i ett sågverk. Metoderna kunde sedan användas för att utvärdera lönsamheten för olika produkter. Resultaten visade på att allokering till *fysiska mått* gav ett negativt värde för biprodukterna. *Försäljningsvärde vid sågningstillfället* och *nettorealiseringsvärde* gav istället positiva värden för alla produkterna. Valet av metod påverkade den individuella lönsamheten för olika produkter (Tunes, Nyrud & Eikenes 2008). Korpunen, Mochan & Uusitalo (2011) använde Activity Based Costing (ABC) som metod för kalkylering av betalningsförmågan för sågtimmer fritt industri. Metoden innebar att varje del i en produktionsprocess utförde en eller flera aktiviteter som förbrukade resurser. I studien så inkluderades alla steg i produktionen vid ett sågverk. Resultaten verifierade ABC som metod för kostnads-kalkylering vid sågning och att postningen är en viktig variabel för fördelningen mellan olika produktionsdelar.

Johansson (2007) utvecklade en metod för kostnadsberäkning baserat på linjär-programmering. Målet var att maximera vinsten av sågning och samtidigt ta hänsyn till vissa bivillkor. Analysen visade att resultaten kan användas som beslutsstöd vilket ger en förbättrad lönsamhet för sågverk. Bengtsson (2012) utvecklade en kalkylmodell som utifrån kundernas betalningsvilja för färdigvaran, produktionskostnader och råvarans egenskaper beräknade värdföretagets betalningsförmåga. Resultaten visade på en minskad produktionskostnad med ökande dimension på råvaran.

Hoflund (2013) syftade till att maximera sågutbytet utifrån postningskalkyler samt kvantifiera det ekonomiska resultatet av en implementering genom en förändrad sågklassläggning vid värdföretagets sågverk. Resultaten visade på en potential att öka sågutbytet och att åtgärden vore lönsam, men produktutfallets kraftiga förändring försvårade en implementering.

Det bör inte uteslutas att en flödesoptimering av timmer kan komma i konflikt med lönsamheten vid sågning. En flödesoptimering av timmer som integreras med lönsamheten vid sågning kan vara ett intressant upplägg.

## **1.5 Syfte**

Att analysera hur ökade transportkostnader, ökade leveranskrav samt prisförändringar på sidobrädor respektive sågverksflis påverkar en optimal flödesplanering av timmer -En fallstudie på Bergs Timber AB

### **1.5.1 Mål**

- Visa hur förändringar av priset på sidobrädor och sågverksflis påverkar det genomsnittliga nettovärdesutbytet
- Visa hur ökade transportkostnader samt förändring av priset på sidobrädor och sågverksflis påverkar en optimal flödesplanering
- Visa hur ökade leveranskrav påverkar den maximerade vinsten av en optimal flödesplanering
- Identifiera eventuella ytterligare faktorer som påverkar en optimal flödesplanering och kvantifiera deras effekt

### **1.5.2 Avgränsning**

Studien omfattade endast timmer som köpts av Bergs Timber AB:s virkesköpare direkt från privata skogsägare vars mark var belägen i Blekinge, Kalmar, Kronobergs, Jönköpings eller Östergötlands län. Studien omfattar endast timmerförsörjningen för sågverken i Mörlunda och Orrefors.

## 2 Material och Metoder

Inledningsvis definierades två begrepp som var av stor betydelse för material och metod.

### *Bruttovärdesutbyte*

Det summerade värdet av produkterna som produceras ur 1 (m<sup>3</sup>toub). Definieras som:

$$\sum_x V(x) * P(x)$$

Där  $V(x)$  representerade volymen (Volume) av den x: te produkten som producerades ur 1 m<sup>3</sup>toub.  $P(x)$  Representerade priset (Price) (SEK) på den x: te produkten per kubikmeter sågad vara (m<sup>3</sup>sv).

### *Nettovärdesutbyte (NYV)*

Det summerade värdet av produkterna som producerades ur 1 m<sup>3</sup>toub minus sågkostnad. Definieras som:

$$\sum_x (V(x) * P(x) - \sum_j SC_j )$$

Variabeln  $SC_j$  representerade sågkostnaden (Sawing cost) SEK/m<sup>3</sup>toub för de j:te sågverket.

### **2.1 Fallstudien- Bergs Timber AB**

Bergs Timber AB, fortsättningsvis benämnt värdföretaget, är en mindre sågverkskoncern belägen i sydöstra Sverige. Koncernens årliga samlade sågverkskapacitet uppgår till 325000 m<sup>3</sup>sv fördelat på klintimmerssågverket i Mörlunda och normaltimmerssågverket i Orrefors. Råvaran utgörs av tall- och grantimmer som huvudsakligen anskaffas i sågverkens närområde. Vid sidan av produktion av sågade trävaror bedriver koncernen även verksamhet inom vidareförädling, träskydd och träbränsle. Koncernen noteras på Nasdaq OMX nordiska börs Stockholms Small Cap.

#### **2.1.1 Normaltimmerssågverket i Orrefors**

Sågverket i Orrefors är inriktat på normaltimmer med en kapacitet om 190000m<sup>3</sup>sv. Såglinjen, som är en *reducerlinje*, togs i bruk 1996 men moderniserades 2006-2008. Inledningsvis reduceras stockens sidor med reducerteknik, därefter sker utsågning av sidobrädor. Avslutningsvis delas centrumblocket med klingor. Råvaran utgörs av tall och grantimmer i toppdiameterintervallet 18-52cm (Bertilsson 2014 pers. kom). Sågverket försörjs till 60-65% av timmer som köpts direkt från skogsägare (Sääw 2014 pers. kom)

### **2.1.2 Klentimmersågverket i Mörlunda**

Sågverket i Mörlunda är inriktat på klentimmer med en kapacitet om 110 000m<sup>3</sup>sv. Under årsskiftet 2013/2014 installerades en *profileringsåglinje*. Tekniken innebär att ett centrumblock fräses fram ut ur stocken, därefter delas centrumblocket med klingor. Såglinjen saknar utrustning för produktion av sidobrädor. Råvaran utgörs av tall och grantimmer i toppdiameterintervallet 11-20cm (Bertilsson 2014 pers. kom). Sågverket försörjs till 30-35% av timmer som köpts direkt från skogsägare (Sääw 2014 pers. kom)

### **2.1.3 Nuvarande flödesplanering**

Sågverkens olika råvarukrav ger upphov till en överlappning, där tall- och grantimmer i toppdiameterintervallet 18-20cm, fortsättningsvis benämnt diameterklass 18-20cm, kan sågas på båda sågverken. Enligt Sääw (2014 pers. kom) sker nuvarande flödesplanering för diameterklass 18-20cm manuellt. Vid flödesplaneringen tas hänsyn till avläggets avstånd till respektive industri och aktuella marknadspriser på sidobrädor och sågverksflis. Avståndet mellan sågverken är ca 82km.

I praktiken så styrs timmerflödet av diameterklass 18-20cm med förändringar i apteringsinstruktionen, där brytpunkten för toppdiametern mellan klentimmer och normaltimmer justeras. Timmer i diameterklass 18-20cm apteras som klentimmer när det ska sågas i Mörlunda eller normaltimmer när ska sågas i Orrefors (Sääw 2014 pers. kom).

### **2.1.4 Nuvarande sågning av diameterklass 18-20cm**

Diameterklass 18-20cm hanteras olika beroende på var timret sågas. Vid Orrefors ingår diameterklass 18-20 cm i *sågklass* 18-23cm. En sågklass sågas batchvis. Vid postningen anges fasta centrumutbyten för hela batchen, därefter optimerar en sågsdator utsågningen av sidobrädor för varje individuell stock. Sågsdatorn tar hänsyn till stockens form och toppdiameter. Det innebär att flera olika postningar kan användas inom samma sågklass i samma batch så länge centrumutbytet förblir detsamma. Vid sågning i Mörlunda ingår diameterklass 18-20cm i sågklass 18-20cm. Vid postningen anges en fast postning av centrumutbyten för hela batchen.

## **2.2 Scenarion**

För att besvara studiens syfte skapades 11 scenarion att applicera på värdföretagets flödesplanering av diameterklass 18-20cm. Scenariona inkluderade ökade transportkostnader, prisförändringar på sågverksflis och sidobrädor samt ett antal kombinationer av ovanstående. Scenario A speglade det rådande läget i oktober 2014, och utgjorde därmed referens. För Scenario B och C ändrades priset på sågverksflis. För D och E ändrades priset på sidobrädor. För F och G ökades transportkostnaderna. För H och J kombinerades en prissänkning av sidobrädor med en prishöjning av sågverksflis. För J och K gjordes en prisförändring för sågverksflis och sidobrädor samt ökade transportkostnader.

För scenariona B, C, D, E, H och I påverkas nettovärdesutbytet på respektive sågverk. För scenario F och G påverkades transportkostnaden för timmer. För Scenario J och K



påverkas både nettovärdesutbytet och transportkostnaden. Scenariona applicerades på flödesplaneringen trädslagsvis. En sammanställning av scenariona redovisas i tabell 1.

**Tabell 1.** Sammanställning över scenarion med prisförändringar för sidobrädor och sågverksflis samt ökad transportkostnad

*Table 1. Summary of scenarios with price changes for sideboards and woodchips as well as increased transport cost*

<b>Scenarios with price changes and increased transport cost</b>			
Scenario	Price change sideboards	Price change woodchips	Change transport costs
A	0 %	0 %	0 %
B	0 %	-10 %	0 %
C	0 %	+10 %	0 %
D	-10 %	0 %	0 %
E	+10 %	0 %	0 %
F	0 %	0 %	+10 %
G	0 %	0 %	+20 %
H	-10 %	+10 %	0 %
I	-20 %	+20 %	0 %
J	-10 %	+10 %	+10 %
K	+10 %	-10 %	+10 %

För att testa effekten av ökade leveranskrav skapades 4 scenarion. Leveranskraven uttrycktes som ett bivillkor där en miniminivå (%) av tillgängligt timmer (diameterklass 18-20cm) måste flödesplaneras till sågverk med leveranskrav. För scenario L, M och N infördes ett leveranskrav till sågverket i Mörlunda. Utformandet av scenariona med leveranskrav grundades på värdföretagets utsago om ett generellt sett lägre nettovärdesutbyte vid sågning i Mörlunda. För scenario O infördes ett leveranskrav till båda sågverken. I övrigt användes samma förutsättningar som i scenario A. Alla fyra scenarion applicerades trädslagsvis. I tabell 2 redovisas en sammaställning över scenarion med leveranskrav.

**Tabell 2.** Scenarion med ett leveranskrav uttryckts som en minimiandel av tillgängligt timmer (m<sup>3</sup>toub)

*Table 2. Scenarios with increased delivery requirements expressed as a minimum percentage of available timber (m<sup>3</sup>toub)*

<b>Scenarios with a delivery requirement</b>		
Scenario	Delivery requirement at Mörlunda	Delivery requirement at Orrefors
L	25 %	0 %
M	50 %	0 %
N	75 %	0 %
O	50 %	50 %

## 2.3 Linjärprogrammering

För att utföra en flödeoptimering på nuläget (scenario A) och testa effekten av förändringarna i scenario B tom K respektive L tom O användes linjärprogrammering. Inledningsvis konstruerades en LP-modell med målet att maximera vinsten av flödeoptimeringen.

### 2.3.1 LP Modell

Maximering av målfunktionen

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m Q_{ij}(NYV_{ij} - TC_{ij})$$

Med bivillkoren

$$Q_{ij} \leq S_i \quad i = 1, \dots, m \quad (1)$$

$$Q_{ij} \geq DR_j \quad j = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$Q_{ij} \geq 0 \quad (3)$$

Där variabeln  $Q_{ij}$  representerade volymen timmer ( $m^3\text{toub}$ ) som flödesplanerades från församling  $i$  till sågverk  $j$  (Mörlunda eller Orrefors) och  $NYV_j$  (*Net Yield Value*) representerade nettovärdesutbytet (SEK/ $m^3\text{toub}$ ) vid sågverk  $j$ .  $TC_{ji}$  (*Transport Cost*) representerade transportkostnad (SEK/ $m^3\text{toub}$ ) från församling  $i$  till sågverk  $j$ .  $n$  är antalet sågverk (2),  $m$  är antalet församlingar (124). Bivillkor (1) stipulerade att summan av volymen timmer ( $m^3\text{toub}$ ) som flödesplanerades från församling  $i$  till sågverk  $j$  skulle vara lika med  $S_i$ , tillgången (Supply) i församling  $i$ . Bivillkor (2) stipulerade att summan av volymen timmer ( $m^3\text{toub}$ ) som flödesplanerades från församling  $i$  till sågverk  $j$  skulle vara lika med eller större än leveranskravet (*Delivery Requirement*) för sågverk  $j$ . Bivillkor (3) stipulerade att flödesplanerad volym timmer ( $m^3\text{toub}$ ) från församling  $i$  till sågverk  $j$  ej fick vara negativ.

Utifrån LP-modellen utformades datasamling, databearbetning och nästkommande steg i metoden.

## 2.4 Transportkostnadsberäkning ( $TC_{ij}$ )

### 2.4.1 Virkesordrar

En virkesorder skapas när virke transporteras från avlägg till en industri och innehåller uppgifter som är nödvändiga för transport, inmätning redovisning och prissräkning (VMF Qbera 2015). Värdföretaget bistod med 4799 virkesordrar, som avsåg timmer, från perioden 2013-08-01 till 2014-07-31 (ett kalenderår). Virkesordrarna hämtades ursprungligen från Skogsbrukets Data Central (SDC). En virkesorder innehöll följande data:

1. Datum
2. Län, kommun, församling (LKF). Sifferkod som angav avläggets geografiska placering.
3. Aktuell församling i klartext.
4. Sortiment, trädslag, egenskap. Sifferkod som angav virkes Sortiment
5. Sortiment i klartext
6. Mottagande industri
7. Mottagande industri i klartext
8. Id kod
9. Enhet för inmätning
10. Inmätt volym
11. Betalningsgrundande avstånd mellan virkesavlägg och industri uttryckt i *Krönt vägval* (km).

Flera virkesordrar saknade delvis data eller uppvisade omrimliga värden för enskilda parameterar. 91 virkesordrar avlägsnades då LKF ej vara beläget i Östergötlands, Kalmar, Kronobergs, Jönköpings eller Blekinge Län. 29 virkesordrar avlägsnades då de redovisade negativ inmätt volym. 14 virkesordrar avlägsnades då de helt saknade data för inmätt volym. 9 virkesordrar avlägsnades då de avsåg interna körningar mellan sågverken. 6 virkesordrar avlägsnades då de innehöll orimligt höga värden för betalningsgrundande transportavstånd (krönt vägval). 411 virkesordrar uppdaterades till aktuellt LKF. För uppdateringen användes data från SCB (2014). 38 virkesordrar var inmätta i m<sup>3</sup>fub och omräknades till m<sup>3</sup>toub med 1,21 som omräkningstal. 1 virkesorder bar sortimentskod 271 (sågbar kubb av tall) och konverterades till sortimentskod 281 (klentimmer av tall). 1 virkesorder bar sortimentskod 272 (sågbar kubb av gran) och konverterades till sortimentskod 282 (klentimmer av gran). Totalt avlägsnades 149 virkesordrar helt ur datamaterialet och 451 virkesordrar kompletterades.

#### **2.4.2 Beräkning av medeltransportavstånd**

Efter databehandlingen återstod 4650 virkesordrar fördelat på 124 församlingar. Ett volymvägt (m<sup>3</sup>toub) medeltransportavstånd (km) beräknades mellan varje församling och sågverken i Mörlunda respektive Orrefors. För 47 församlingar saknades helt leverans av timmer till ett av sågverken vilket omöjliggjorde en beräkning av volymvägt medeltransportavstånd. I de församlingarna genererades en geografisk centrumpunkt m.h.a Arc Gis. Därefter beräknades ett transportavstånd mellan centrumpunktens närmsta ort och det aktuella sågverket m.h.a Google Maps vägbeskrivningsverktyg.

#### **2.4.3 Transportkostnadsstariffer**

Värdföretaget bistod med aktuella transportkostnadsstariffer. Priserna uttrycktes som ett totalpris (fast + rörlig kostnad) SEK/m<sup>3</sup>toub vid ett givet avstånd i km *Sågtimmer Tall*, *Sågtimmer Gran* och *Klentimmer* och omfattande avstånd mellan 5-300km med 1 km intervall. I *Klentimmer* ingick klintimmer av både tall och gran. För transportavstånd understigande 5 km angavs ett fast pris. Utifrån transportkostnadsstarifferna beräknades en medeltransportkostnad (SEK/m<sup>3</sup>toub) för varje församling och respektive sågverk för

aktuella sortiment. Tariffernas tillämpning var beroende av timrets sortimentskod vilket innebar att medeltransportkostnaden för flödesplanering till Mörlunda beräknades utifrån *Klentimmer* och medeltransportkostnaden för flödesplanering till Orrefors beräknades utifrån *Sågtimmer Tall* och *Sågtimmer Gran*.

## **2.5 Beräkning av tillgänglig volym timmer ( $S_i$ )**

Värdföretaget bistod med en övergripande *stocknota* för perioden 2013-08-01 till 2014-07-31. Stocknotan hämtades ursprungligen från SDC. Med stocknota avsåg en sammanställning över levererat timmer ( $m^3\text{toub}$ ) fördelat på längd- och diameterklass, uttryckts som volym ( $m^3\text{toub}$ ). Längdklasserna angavs från 310 cm till 730cm med 30cm intervall.

Diameterklasserna angavs från 10cm till 58cm med 2 cm intervall. Utifrån stocknotan beräknades hur stor andel diameterklass 18-20 cm utgjorde av den totala volymen timmer ( $m^3\text{toub}$ ). Vid beräkningen ingick endast timmer som uppfyllde leveranskraven för dimension; längd 310-550cm och diameter 11-52cm. För tall var andelen 10,0% och gran 11,5%. Inom diameterklass 18-20cm beräknades en procentuell fördelning per längdklass. I tabell 3 redovisas den procentuella längdklassfördelningen inom diameterklass 18-20cm

**Tabell 3.** Procentuell längklassfördelning inom diameterklass 18-20cm, tall och gran  
**Table 3.** Percentage length class distribution within diameter class 18-20cm, pine and spruce

<b>Length class distribution (%)</b>		
Length class (cm)	Pine	Spruce
310	15	13
340	1	1
370	24	23
400	1	1
430	15	12
460	2	2
490	36	41
520	1	1
550	5	6

För varje kalendermånad aggregerades virkesordrarna församlingsvis. Klentimmer och sågtimmer summerades till att utgöra en trädslagsvis gemensam timmerkälla för varje församling. Tillgänglig timmervolym i diameterklass 18-20 för respektive månad skattades utifrån tidigare beräknade andelstal.

## **2.6 Beräkning av genomsnittliga nettovärdesutbyten (NYV<sub>j</sub>)**

### **2.6.1 Skapandet av provstockar**

Det saknades data för verkligt produktutfall vid sågning av diameterklass 18-20cm. För att göra nettovärdesutbytesberäkningar skapades 1000 provstockar av tall respektive gran fördelat på 10 set á 100. Provstockarnas längd beräknades utifrån den procentuella längdklassfördelningen inom diameterklass 18-20cm (tabell 3). Provstockarnas toppdiameter slumpades inom spannet 180-199mm med 1 mm intervall. Kapytorna i topp och rotänden antogs vara helt cirkulära. För varje provstock beräknades volym i m<sup>3</sup>toub. För beräkning av andelen sågverksflis krävdes mått i m<sup>3</sup>fub. För omvandling från m<sup>3</sup>toub till m<sup>3</sup>fub användes VMF:s omvandlingsmatris för södra Sverige (SDC 2014). I tabell 4 visas en sammanställning över skapade provstockset för tall, i tabell 5 visas en sammanställning över skapade provstockset för gran.

**Tabell 4** Sammanställning stockvolym (m<sup>3</sup>toub) för provstocksett, tall**Table 4.** Summary log volume (m<sup>3</sup>toub) test log sets, pine

Summary log volume (m <sup>3</sup> toub), pine						
Set	Mean	Median	Min	Max	SE	
					Mean	StDev
1	0,12007	0,12463	0,07885	0,17098	0,00222	0,02225
2	0,12088	0,12314	0,08061	0,16756	0,00211	0,02110
3	0,11919	0,12060	0,07885	0,17098	0,00224	0,02242
4	0,11992	0,12186	0,07972	0,16586	0,00217	0,02166
5	0,12078	0,12314	0,07885	0,17098	0,00234	0,02339
6	0,12152	0,12186	0,07972	0,16249	0,00221	0,02211
7	0,12012	0,12478	0,07885	0,17098	0,00214	0,02138
8	0,12045	0,12314	0,07972	0,16586	0,00216	0,02156
9	0,12048	0,12522	0,08061	0,16082	0,00214	0,02144
10	0,11930	0,12463	0,07972	0,16756	0,00213	0,02133

**Tabell 5** Sammanställning stockvolym (m<sup>3</sup>toub) för provstocksett, gran**Table 5.** Summary log volume (m<sup>3</sup>toub) test log sets, spruce

Summary log volume (m <sup>3</sup> toub), spruce						
Set	Mean	Median	Min	Max	SE	
					Mean	StDev
1	0,12141	0,12602	0,07885	0,16586	0,0022	0,02205
2	0,12185	0,12587	0,0815	0,15751	0,00216	0,02158
3	0,12202	0,12653	0,07972	0,16417	0,00221	0,0221
4	0,12248	0,12463	0,07885	0,16926	0,00209	0,02093
5	0,12221	0,12573	0,07972	0,17098	0,00221	0,02202
6	0,12144	0,12573	0,07885	0,16586	0,00215	0,02155
7	0,12141	0,12602	0,07885	0,16586	0,0022	0,02205
8	0,12275	0,12741	0,07972	0,17098	0,0022	0,02196
9	0,1226	0,12602	0,08329	0,16165	0,00206	0,02055
10	0,12183	0,12614	0,07885	0,15751	0,00222	0,02221

### 2.6.2 Beräkning av genomsnittlig sågkostnad (SC<sub>j</sub>)

Inför beräkningen av genomsnittlig sågkostnad (SEK/m<sup>3</sup>toub) bistod värd företaget med produktionsdata för såglinjerna på respektive sågverk. En genomsnittlig sågkostnad beräknades för varje enskilt provstocksett. För beräkningen användes följande formel:

$$SC_j = \frac{OC_j}{\left( \frac{Mean LoL_z + LoG_j}{FR_j * TU_j} \right) * Mean LoGV_z * 60}$$

Där *OC* (*Operating cost*) avsåg driftkostnad såglinje (SEK/h). *Mean LoL<sub>z</sub>* (*Mean log length*) avsåg medelstocklängden (m) i provstockset *z* (*z*=1.. 10 tall, 1.. 10 gran). *LoG* (*Log Gap*) avsåg stockluckan (m) mellan stockarna. *FR* (*Feeding rate*) avsåg matningshastighet (m/min). *TU* (*Technical Utilization*) avsåg den tekniska utnyttjandegraden (%). *MeanLoV<sub>z</sub>* (*Mean Log Volume*) avsåg medelstockvolymen (m<sup>3</sup>toub).

### 2.6.3 Prislister för sågade trävaror, sågverksflis och sågspån

Värd företaget bistod med marknadsprislister för centrumutbyten och sidobrädor. Prislister redovisades i SEK/m<sup>3</sup>sv för varje enskild produkt och representerade ett snitt för alla kvaliteter för respektive träslag där kostnader för hantering efter såglinjen (torkning, justering etc) räknats bort. Värd företaget bistod även med marknadspriser för sågverksflis och sågspån, redovisade som SEK/ton torrsbstans. Prisenivåerna räknades om till SEK/m<sup>3</sup>sv enligt omvandlingstal som presenterats av Ringman (1995).

### 2.6.4 Postningsanalys

I samråd med produktionsansvariga på värd företaget kombinerades centrumutbyten och sidobrädor till olika postningsalternativ för att identifiera de postningsalternativ som gav högst bruttovärdesutbyte på respektive sågverk. Hänsyn togs till behov av övermål pga. träs krympning efter torkning. Toleransen för vankant uppgick till 2 mm. För sågverket i Mörlunda skapades 5 postningsalternativ för tall (PM1-PM5) och 2 för gran (SM1-SM2). För sågverket i Orrefors skapades 7 postningsalternativ för tall (PO1-PO7) och 2 för gran (SO1-SO2). I tabell 6 redovisas en sammanställning över postningsalternativen.

**Tabell 6.** Sammanställning av postningsalternativ

*Table 6. Summary of sawing patterns*

Sawing patterns					
Name	Product 1	Number	Product 2	Number	Top diameter range (mm)
<i>Pine</i>					
PM1	38x150	2	X		180-199
PM2	38x150	3	X		197-199
PM3	47x150	2	X		180-199
PM4	47x150	1	43x90	2	180-199
PM5	63x125	2	X		180-199
PO1	38x150	1	38x125	2	180-199
PO2	38x150	2	19x100	2	180-199
PO3	38x150	2	25x100	2	180-199
PO4	38x150	2	25x125	2	190-199
PO5	38x150	3	19x100	2	197-199
PO6	47x150	2	19x100	2	180-199
PO7	47x150	2	25x100	2	189-199
<i>Spruce</i>					
SM1	47x150	2	X		180-199
SM2	47x150	1	43x90	2	180-199
SO1	47x150	2	19x100	2	180-199
SO2	47x150	2	25x100	2	189-199

Postningsalternativen analyserades i mjukvaran Fagus Wood ©. Fagus Wood är ett teoretiskt verktyg för kalkylering av olika postningsalternativ. Verktuget förutsätter att stockarna är helt cirkulära i den kapade topp-och rotytan, har en konstant avsmalning samt helt raka. I verkligheten kan en stocks form variera till följd av bl.a. krök, avsmalning och

ovalitet. Resultaten från analysen kan därför vara missvisande och både överskatta likväl som underskatta det verkliga bruttovärdesutbytet.

För sågverket i Mörlunda krävdes att postningen var applicerbar på hela postningen utifrån toppdiameter. Det innebar att postningsalternativet PM2 ej var aktuellt. Analysen visade att PM5 gav högst bruttovärdesutbyte vid sågning av tall och SM1 vid sågning av gran.

För sågverket i Orrefors kunde olika postningsalternativ kombineras så länge centrumpostningen förblev densamma. Analysen visade att en kombination av PO6 (180-188mm) och P07 (189-199mm) gav högst bruttovärdesutbyte för tall och att en kombination av SO1 PO6 (180-188mm) och SO2 (189-199mm) gav högst bruttovärdesutbyte för gran.

De postningsalternativ med högst bruttovärdesutbyte applicerades på provstockarna för beräkning av ett *genomsnittligt nettovärdesutbyte*. Utifrån postningarna beräknades värdet av produktutfallet (centrumutbyten, sidobrädor, sågverksflis och sågspån) för varje stock, därefter subtraherades den genomsnittliga sågkostnaden. Det summerade nettovärdesutbytet för varje stocksett dividerades med stocksettets summerade timmervolym (m<sup>3</sup>toub) för att erhålla ett genomsnittligt nettovärdesutbyte (SEK/m<sup>3</sup>toub). Avslutningsvis beräknades ett medelvärde av alla provstocksettens genomsnittliga nettovärdesutbyte. Inför varje nytt scenario upprepades beräkningen av det genomsnittliga nettovärdesutbytet efter att prislistorna och transportkostnaderna uppdaterats.

## **2.7 Flödesoptimering av diameterklass 18-20cm**

LP-modellen användes för att konstruera ett optimeringsverktyg i Excell, baserat på principen för metoden kolumngenerering, för att sedan lösas med Open Solver. En sommarmånad (juni 2014) och en vintermånad (januari 2014) valdes att utgöra "case" för flödesoptimeringen. Optimeringarna genomfördes för tall och gran separat.

Kolumngenereringen innebar att varje församling kopplades samman med båda sågverken i förutbestämda flöden. Vid optimeringen av respektive scenario valde Open Solver vilket av alternativen för varje församling som var optimalt utifrån de bivillkor som stipulerades i LP-Modellen. Inför varje scenario uppdateras förutsättningarna enligt tabell 1.

## **2.8 Beräkning leveranskravets ( $DR_j$ ) effekt på vinsten**

Leveranskravets effekt på den maximerade vinsten för scenario L-O beräknades trädslagsvis med kvoten:

$$DR_j = \frac{\text{Maximized profit scenario } k}{\text{Maximized profit scenario } A}$$

Där  $k$  avsåg scenarion med leveranskrav (L,M,N och O)



## 2.9 Identifiering och kvantifiering av ytterligare faktorer

En analys gjordes på resultaten från *transportkostnadsberäkning* och *beräkning av genomsnittligt nettovärdesutbyte* för att identifiera ytterligare faktorer som påverkade flödesoptimeringen.

Inledningsvis gjordes en regressionsanalys av respektive transportkostnadstariff för att erhålla en koefficient ( $\beta_1$ ) för *Running cost (RC)* (SEK/m<sup>3</sup>toub/km) för respektive tariff enligt följande formel:

$$TC_o = \beta_1 * RC_o + FC_o$$

Där *o* avsåg aktuell transportkostnadstariff (*Sågtimmer Tall*, *Sågtimmer Gran* och *Klentimmer*). *FC* avsåg fasta kostnader (fixed cost) (SEK/m<sup>3</sup>toub).

Regressionerna resulterade i tre koefficienter:

$$\beta_{\text{sågtimmer tall}}$$

$$\beta_{\text{sågtimmer gran}}$$

$$\beta_{\text{klentimmer}}$$

Kvantifieringen uttrycktes som *delta potential supply distance ( $\Delta PSD$ )* och var en kvot mellan skillnaden i nettovärdesutbyten och  $\beta_{1o}$  vilket i klartext utlästes som; ”hur mycket längre kan avståndet mellan församling i och Orrefors vara än avståndet mellan församling i och Mörlunda innan det är optimalt att flödesplanera timret i församling i till Mörlunda?”.

Kvantifieringsformel:

$$\Delta PSD = \frac{NYV_{\text{Orrefors Scenario A } p} - NYV_{\text{Mörlunda Scenario A } p}}{\beta_o}$$

Där *p* avsåg postning (*PM5, PO6/PO7, SM1, SO1/SO2*)

För tall beräknades referensen enligt uppställningen:

$$\Delta PSD_{\text{pine}} = \frac{NYV_{\text{Orrefors Scenario A PO6/PO7}} - NYV_{\text{Mörlunda Scenario A PM5}}}{\beta_{\text{sågtimmer tall}}}$$

För gran beräknades referensen enligt uppställningen:

$$\Delta PSD_{\text{spruce}} = \frac{NYV_{\text{Orrefors Scenario A SO1/SO2}} - NYV_{\text{Mörlunda Scenario A SM1}}}{\beta_{\text{sågtimmer gran}}}$$

Analysen gjordes i två steg. I det första steget hölls täljaren konstant (enligt referensuppställning för tall respektive gran), därefter förändrades *p* för Orrefors respektive Mörlunda och  $\Delta PSD$  noterades. Det första steget syftade till att identifiera ytterligare

faktorer som påverkade  $NYV_j$ . I det andra steget hölls nämnaren konstant, därefter förändrades  $\rho$  och  $\Delta PSD$  noterades. Det andra steget syftade till att identifiera ytterligare faktorer som påverkade  $TC_j$ . Avslutningsvis skapades ett jämförelsematerial genom beräkning av  $\Delta PSD$  för scenario B-G. När  $\Delta PSD > 82$  var det alltid optimalt att köra timret till Orrefors.

### 3 Resultat

#### 3.1 Genomsnittliga nettovärdesutbyten (NYV<sub>j</sub>)

Scenario A utgjorde referens för respektive sågverk och trädslag. Vid sågning i Mörlunda syntes störst skillnad mellan referensen och scenario I för både tall och gran, en ökning om drygt 4 % respektive 5 %. Vid sågning i Orrefors syntes störst skillnad mellan referensen och scenario E för tall, en ökning om ca 2,5 % och scenario D för gran, en sänkning om drygt 2 %. I tabell 7 redovisas en sammanställning av NYV<sub>j</sub> för respektive scenario som ett andelstal av Scenario A. I tabell 8 redovisas NYV<sub>j</sub> för respektive scenario som andelstal av NYV<sub>j</sub> för sågning i Mörlunda.

**Tabell 7.** NYV<sub>j</sub> som andelstal av NYV<sub>j</sub> för scenario A

*Table 7. NYV<sub>j</sub> as a percentage of NYV<sub>j</sub> for scenario A*

<b>NYV<sub>j</sub> as a percentage(%) of scenario A</b>				
Scenario	Spruce		Pine	
	Mörlunda	Orrefors	Mörlunda	Orrefors
A	100,00	100,00	100,00	100,00
B	97,48	98,33	97,85	98,74
C	102,53	101,67	102,05	102,04
D	100,00	97,95	100,00	98,28
E	100,00	102,06	100,00	102,51
F	100,00	100,00	100,00	100,00
G	100,00	100,00	100,00	100,00
H	104,15	100,69	103,54	100,99
I	105,04	99,26	104,31	99,46
J	104,15	100,69	103,54	100,99
K	102,52	99,58	102,15	99,93

**Tabell 8.** NYV<sub>j</sub> för respektive scenario som andelstal av NYV<sub>j</sub> vid sågning i Mörlunda

*Table 8. NYV<sub>j</sub> for each scenario as a percentage of NYV<sub>j</sub> when sawing in Mörlunda*

<b>NYV<sub>j</sub> as a percentage (%) of NYV<sub>j</sub> when sawing in Mörlunda</b>				
Scenario	Spruce		Pine	
	Mörlunda	Orrefors	Mörlunda	Orrefors
A	100,00	110,80	100,00	102,61
B	100,00	111,77	100,00	103,55
C	100,00	109,86	100,00	102,61
D	100,00	108,52	100,00	100,84
E	100,00	113,08	100,00	105,18
F	100,00	110,80	100,00	102,61
G	100,00	110,80	100,00	102,61
H	100,00	107,12	100,00	100,08
I	100,00	104,70	100,00	97,84
J	100,00	107,12	100,00	100,08
K	100,00	107,62	100,00	100,38

## 3.2 Flödesoptimering

### 3.2.1 Flödesoptimerad volym ( $Q_{ij}$ )

I tabell 9 redovisas flödesoptimerad volym timmer och antalet församlingar från vilka timret flödesplanerades för respektive månad.

**Tabell 9.** Flödesoptimerade timmervolym och antalet församlingar för respektive månad  
*Table 9. Flow optimized timber volume ( $m^3\text{toub}$ ) and number of perishes for each month, respectively*

<b>Flow optimized timber and number of perishes</b>				
Month	Volume ( $m^3\text{toub}$ )		Number of perishes	
	Pine	Spruce	Pine	Spruce
Jan 2014	1075	1943	55	57
Jun 2014	1108	1576	65	66

### 3.2.2 Flödesoptimering scenario A-O, tall

Resultaten av flödesoptimeringarna var lika för scenario A, C, E, F, G för båda månaderna (januari 2014, juni 2014). Störst skillnad från referensen syntes i scenario I för båda månaderna. I scenario L leverades mer än minimiandelen av Mörlundas leveranskrav för båda månaderna. Även i Scenario M överstegs minimiandelen. Dock endast marginellt (50,2% av 50 %) och bara för januari 2014. I tabell 10 redovisas en sammanställning av flödesoptimeringar för tall.

**Tabell 10.** Sammanställning över resultatet för flödesoptimeringar, tall  
*Table 10. Summary over the results of the flow optimizations, pine*

<b>Results flow optimizations, pine</b>								
Scenario	January 2014				June 2014			
	Volume ( $m^3\text{toub}$ )		Perishes		Volume ( $m^3\text{toub}$ )		Perishes	
	Mör	Orr	Mör	Orr	Mör	Orr	Mör	Orr
A	539	535	29	26	373	736	33	32
B	472	603	28	27	291	818	29	36
C	539	535	29	26	373	736	33	32
D	594	480	32	23	552	557	37	28
E	539	535	29	26	373	736	33	32
F	539	535	29	26	373	736	33	32
G	539	535	29	26	373	736	33	32
H	603	471	33	22	558	550	38	27
I	725	349	38	17	700	408	45	20
J	603	471	33	22	558	550	38	27
K	603	471	33	22	558	550	38	27
L	539	535	29	27	373	736	33	32
M	539	535	29	27	554	554	33	32
N	806	269	30	26	831	277	48	18
O	537	537	29	27	554	554	38	28

### 3.2.3 Flödesoptimering scenario A-O, gran

Den optimala flödesplanerings utseende var densamma för scenario A-H för båda månaderna (januari 2014, juni 2014). Av de scenarion som saknade leveranskrav uppvisade endast scenario I en klar skillnad i jämförelse med referensen (A). För scenario L, M, N leverades endast miniminivån av Mörlundas leveranskrav. I tabell 11 redovisas en sammanställning av flödesoptimeringarna för gran.

**Tabell 11.** Sammanställning över resultatet för flödesoptimeringar, gran  
*Table 11. Summary over the results of the flow optimizations, spruce*

Results flow optimizations, spruce								
Scenario	January 2014				June 2014			
	Volume (m <sup>3</sup> toub)		Perishes		Volume (m <sup>3</sup> toub)		Perishes	
	Mör	Orr	Mör	Orr	Mör	Orr	Mör	Orr
A	0	1943	0	57	0	1576	0	66
B	0	1943	0	57	0	1576	0	66
C	0	1943	0	57	0	1576	0	66
D	0	1943	0	57	0	1576	0	66
E	0	1943	0	57	0	1576	0	66
F	0	1943	0	57	0	1576	0	66
G	0	1943	0	57	0	1576	0	66
H	0	1943	0	57	0	1576	0	66
I	519	1424	15	42	248	1328	18	48
J	1	1942	1	56	47	1530	3	63
K	0	1943	0	57	0	1576	0	66
L	486	1457	12	45	394	1182	31	36
M	971	971	34	24	788	788	22	45
N	1457	486	39	19	1182	394	52	15
O	971	971	34	24	788	788	44	23

### 3.3 Leveranskravet ( $DR_j$ ) effekt på den maximerade vinsten

För gran påverkades den maximerade vinsten negativt för samtliga scenario och båda månaderna. För tall påverkades den maximerade vinsten negativt för scenario N och O för båda månader, dock var påverkan så liten för scenario O i januari 2014 att den inte syns vid två decimaler. I tabell 12 redovisas den maximerade vinsten som andel av referensen (A) fördelat på trädslag och månad.

**Tabell 12.** Den maximerade vinsten som andel av scenario A fördelat på trädslag och månad  
**Table 12.** The maximized profits as a percentage of scenario A broken down by species and month

<b>Max profit as a percentage (%) of A</b>				
Scenario	Pine		Spruce	
	January 2014	June 2014	January 2014	June 2014
A	100,00	100,00	100,00	100,00
L	100,00	100,00	98,67	98,58
M	100,00	99,91	96,88	95,73
N	99,11	98,70	93,64	92,03
O	100,00	99,91	96,88	95,73

### 3.4 Identifiering och kvantifiering av ytterligare faktorer

Vid analysen identifierades *skillnad i sågkostnad mellan sågverken, transportkostnadstariffens uppbyggnad och kundernas efterfrågan på sågade trävaror* som faktorer vilka hade en klar påverkan på den optimala flödesplaneringen för både tall och gran. När sågkostnaden antogs vara lika (sågkostnad Mörlunda) för båda sågverken ökade  $\Delta$ PSD jämfört med scenario A med 76km för tall och 79km för gran.

*Transportkostnadstariffens uppbyggnad*, med skillnader i pris mellan timmersortimenten, innebar en högre transportkostnad för timmer som flödesplanerades till Mörlunda (Klentimmer) än till Orrefors (Sågtimmer Tall och Sågtimmer Gran). Skillnaden var ca 6 % för tall och 9 % för gran vilket resulterade i en ökning av  $\Delta$ PSD med 2 respektive 6 km i jämförelse med scenario A.

*Kundernas efterfrågan på sågade trävaror* som en påverkande faktor. Det yttrade sig som att skillnaden i värde för  $\Delta$ PSD med postning PM5 i Mörlunda och postning PO6/PO7 i Orrefors var 101 km större än  $\Delta$ PSD med postning SM1 i Mörlunda och postning SO1/SO2 i Orrefors. Det innebär konkret en skillnad i efterfrågade produkter mellan tall och gran samt hur resurseffektivt de kan sågas fram i det diameterklass 18-20cm.

I tabell 13 redovisas en sammanställning av kvantifieringen för tall, där scenario B-G utgör jämförelsematerial. I tabell 14 redovisas en sammanställning av kvantifieringen för gran, där scenario B-G utgör jämförelsematerial.

**Tabell 13.**  $\Delta$ PSD för scenario A-G, och de ytterligare identifierade faktorerna, tall  
**Table 13.**  $\Delta$ PSD for scenario A-G and the further identified factors and scenario, pine  
 **$\Delta$ PSD for the identified factors cans scenario B-G compared to scenario A, pine**

Scenario	Factor	Change of price/cost	$\Delta$ PSD	Diff $\Delta$ PSD (Km)	Diff $\Delta$ PSD (%)
A			35		
B	Woodchips	-10 %	47	12	34 %
C	Woodchips	+10 %	36	1	3 %
D	Sideboards	-10 %	11	-24	-69 %
E	Sideboards	+10 %	70	35	100 %
F	Trp cost	+10 %	32	3	-9 %
G	Trp cost	+20 %	29	6	-17 %
	Trp tariff				
	klentimmer	+6 %	37	2	6 %
	Difference				
	Sawingcost*		111	76	216 %
	The customers demand**		136	101	287 %

\*Sågkostnaden antogs vara lika (sågkostnad Mörlunda) för båda sågverken

\*\* Skillnaden i värde för  $\Delta$ PSD för postning PM5 i Mörlunda och postning PO6/PO7 i Orrefors kontra  $\Delta$ PSD för postning SM1 i Mörlunda och postning SO1/SO2 i Orrefors.

**Tabell 14.**  $\Delta$ PSD för scenario A-G, och de ytterligare identifierade faktorerna, gran  
**Table 14.**  $\Delta$ PSD for scenario A-G and the further identified factors and scenario, spruce  
 **$\Delta$ PSD for the identified factors cans scenario B-G compared to scenario A, spruce**

Scenario	Factor	Change of price/cost	$\Delta$ PSD	Diff $\Delta$ PSD (Km)	Diff $\Delta$ PSD (%)
A			143		
B	Woodchips	-10 %	152	9	6 %
C	Woodchips	+10 %	134	-9	-6 %
D	Sideboards	-10 %	113	-30	-21 %
E	Sideboards	+10 %	173	30	21 %
F	Trp cost	+10 %	130	13	-9 %
G	Trp cost	+20 %	119	24	-17 %
	Trp tariff				
	klentimmer	+9 %	131	12	-8 %
	Difference				
	Sawingcost*		220	79	55 %

\*Sågkostnaden antogs vara lika (sågkostnad Mörlunda) för båda sågverken

## 4 Diskussion

### 4.1 Datamaterial och databearbetning

Virkesordrar, stocknotor, transportkostnadstariffer användes i studien erhöles direkt från värdforetaget. Det innebar att delar av materialet omfattades av sekretess, vilket i sin tur var orsaken till att stora delar av resultatet redovisades i relativa tal (%) istället för faktiska tal (SEK). Prislister för sågade trävaror speglade genomsnittliga marknadspriser för alla kvaliteter där kostnader för hanteringen efter såglinjen räknats bort. Ett sådant förfarande innebär en förenkling. Det vore dock svårt att använda kvalitetspecificerade prislister eftersom uppgifter om verkligt kvalitetsutfall vid sågning av diameterklass 18-20cm saknades.

Marknadspriserna på sågverksflis och sågspån angavs ursprungligen i SEK/ ton torrsbstans. Det krävde en omräkning till SEK/m<sup>3</sup>sv. De omräkningstal som användes (Ringman 1995) var genomsnitt som används av praktiska skäl. I praktiken kan bl.a. årstid vid avverkning, trädets ålder, stockens orientering i stammen (rotstock, mellanstock, toppstock) och trädslag påverka det faktiska förhållandet mellan ton torrsbstans och m<sup>3</sup>sv.

Omvandlingen av inmätt volym till m<sup>3</sup>toub för de 38 virkesordrar som var inmätta i m<sup>3</sup>fub var starkt motiverad, särskilt då det enda rimliga alternativet var en total uteslutning ur datamaterialet. För omvandlingen dividerades inmätt volym m<sup>3</sup>fub med 1,21, vilket baserades på en förväntad medellängd om 430cm för tall och grantimmer i diameterklass 18-20cm (SDC 2014). En mer exakt beräkning av medellängd hade kunnat göras utifrån stocknotorna, dock var de inte tillgängliga för än långt efter den tidpunkt då virkesordrarna bearbetades. De 38 virkesordrarna utgjorde mindre än 1 % av alla virkesordrar som ingick i studien och en generalisering bör därmed inte ha påverkat slutresultatet nämnvärt.

### 4.2 Fallstudiens egenskaper

Bergs Timber AB bör överlag anses ha varit en fullgod värd för fallstudien. Sågverks råvarubegränsningar som följd av olika sågteknik gav upphov till en förhållandevis liten överlappning i råvarukravet beträffande dimension (diameterklass 18-20cm). Att överlappningen endast utgjordes av diameterklass 18-20cm begränsade antalet möjliga postningskombinationer av två skäl. För det första så var överlappningen i dimensionskrav endast 2 cm (en diameterklass), vilket bidrog till att minska antalet alternativa postningar inom det aktuella intervallet på respektive sågverk. För det andra så är diameterklass 18-20cm förhållandevis klen timmer. Det går att såga fram flera produkter (och postningskombinationer) ur grovt timmer än ur klen timmer. Sammantaget kan ovanstående förutsättningar uppfattas som begränsande, men bidrog samtidigt till att utförandet av postningsanalyser och nettovärdesutbytesberäkningar kunde genomföras med en rimlig arbetsinsats.

Att fallstudien endast omfattade två sågverk kan ha varit begränsande. Under arbetsgång förvärvade Bergs Timber AB ytterligare ett sågverk, men som att av praktisk själ inte gick



att införliva i studien. Det är rimligt att anta att en optimal flödesplanering kunde ha sett helt annorlunda ut för tre sågverk. Samtidigt sågade båda sågverken både tall- och grantimmer, vilket var en förutsättning för jämförelser mellan trädslagen, något som inte hade påverkats av inkluderingen av det tredje sågverket.

Värdföretaget köpte inte allt timmer direkt från privata skogsägare. En icke oansenlig del av timmerförsörjningen skedde som *byten* och *centrala köp* med andra skogsindustriella aktörer. Det fanns därmed en viss osäkerhet kring hur övrig timmerförsörjning påverkade flödesplaneringen av timmer som köpts direkt från skogsägare.

### **4.3 Metod**

#### **4.3.1 Val av scenarion**

Utgångspunkten var det rådande marknadsläget för sågade trävaror och biprodukter (oktober 2014). Inför skapandet av scenarion granskades historiska marknadspriser. Enligt värdföretaget var marknadspriserna för sågade trävaror förhållandevis goda och marknadspriserna för biprodukterna låga. Granskning av historiska variationer i syfte att prediktera framtiden kan vara förknippat med risker. En historisk utveckling är ingen garanti för framtida utveckling. Därför skapades flera olika scenarion men med vissa begränsningar. Prisförändringarna översteg aldrig 20 % för något enskild faktor. Avsaknaden av ett spegelvänt alternativ till scenario I motiverades av värdföretagets utlåtande över det rådande marknadsläget. Valet att inte inkludera scenarion med prisförändringar på centrumutbyten motiverades av värdföretagets nuvarande flödesplanering av diameterklass 18-20cm samt att postningen alltid skedde med målet att få så ett så högt centrumutbyte som möjligt (Bertilsson 2014 pers. kom). Vidare så följde marknadspriserna på sidobrädor och centrumutbyten åt. Ytterligare scenarion med fler variationer och prisförändringar på centrumutbyten kunde ha givit en större bredd i resultatet, samtidigt krävdes begränsningar för att lämna tid åt analyser och diskussion.

Transportkostnaderna lämnades antingen helt oförändrade eller höjdes med 10 % respektive 20 %. Det motiverades av en historisk trend av fortsatt ökade transportkostnader (Brunberg 2011, Brunberg 2012, Brunberg 2013, Brunberg 2014). Av samma själv infördes inte heller något scenario med sänkta transportkostnader.

#### **4.3.2 Skapandet av provstockar, postningsanalys och nettovärdesutbytnsberäkning**

Det var ett tillkortkommande att inte använda verkliga stockar som provstockar. Ett alternativt tillvägagångssätt kunde ha varit en analys av verkliga stockar som sågats på respektive sågverk. Olyckligtvis var sågdatoren i Mörlunda ej fullständigt installerad och sågdatoren i Orrefors saknade möjlighet att generera skiftrapporter endast innehållande resultat från sågning av diameterklass 18-20 cm.

Provstockarna antogs vara helt cirkulärt runt i toppkapet, exakt längd, helt raka och fria från övriga deformationer. Vid postningsanalysen i Fagus Wood © förutsattes att allt virke skulle vara nära nog skarpkantigt (2mm tolerans). Dessa antaganden är en förenkling av verkligheten. I praktiken så tillåts mer vankant och sidobrädorna behöver inte ens utgöra hela

stockens längd. Resultaten från postningsanalysen och nettovärdesutbytesberäkningarna kan därför vara behäftade med fel. Precisionen bör dock ha varit tillräcklig utifrån studiens syfte, särskilt då provstockarnas längdfördelning speglade den verkliga längdfördelningen (tabell 3).

Vid förändring av marknadspriser och ökade transportkostnader (Scenario B-K) antogs de valda postningsalternativen från scenario A alltså ge högst genomsnittligt nettovärdesutbyte. Det kan inte uteslutas att något av de andra postningsalternativen var lönsammare för ett eller flera scenarion. Det hade kunnat avhjälpas med en upprensning av postningsanalysen inför varje scenario. En annan lösningsmetodik kunde ha varit att använda ett snitt av flera postningar, dock så hade det erfordrat en bedömning av andelen timmer som sågats med respektive postning.

Postningarnas respektive användningsintervall berodde av stockarnas toppdiameter vid sågning i Orrefors angavs i mm. I verkligheten så är inte gränsen mellan två postningar knivskarp. Likaså har sågdatorn i Orrefors möjlighet att såga ut två eller flera sidobrädor av olika dimension i samma stock, något som inte togs hänsyn till i studien av praktiska skäl.

Vid beräkning av sågkostnad antogs det vara möjligt att såga alla postningar på respektive sågverk med samma matningshastighet och stocklucka. Det avspeglades i att sågkostnaden var oberoende av postning. Vidare togs ingen hänsyn till en lägre matningshastighet på vintern (januari 2014) till följd av att timret då är fruset. I praktiken kan sågkostnaden variera tydligt mellan postningar och årstider.

#### **4.3.3 Linjärprogrammering, kolumngenerering, aggregering och flödesoptimering**

Lösning av flödesoptimeringen med linjärprogrammering krävde generaliseringar.

Linjärprogrammeringen kan inte ta hänsyn ”mjuka” faktorer, exempelvis tjällossningar och produktionsstörningar på sågverken. Dessutom användes historiska data över tidigare flödesplanerat timmer som sedan flödesplanerades på nytt genom flödesoptimeringen. Resultaten var därför inte direkt applicerbara på verkligheten, och därmed är det inte heller rimligt att en optimal flödesplanering kan realiseras till fullo. Det berodde i sin tur på LP-modellens utformning. Vidare så ledde införandet av leveranskrav till att i *en* församling (olika för varje scenario) för varje scenario med leveranskrav delvis flödesplanerades till Mörlunda, delvis till Orrefors för scenario L,M,N och = för gran, N och O för tall (Tabell 9 och 10). Det hade troligen kunnat avhjälpas med en förändring av modellen med då påverkan på resultaten ansågs försumbar gjordes ingen förändring av modellen efter att avvikelserna upptäckts, något som i sin tur hade krävt att stora delar av flödesoptimeringarna hade fått göras om. Sammanfattningsvis så bör resultaten från flödesoptimeringen ses som en målbild och ett beslutstöd vid flödesplanering för timmer i diameterklass 18-20cm.

LP-modellens utformning tog ingen hänsyn till lagernivån av timmer på respektive sågverk. Det hade varit önskvärt eftersom endast 10 % för talltimret och 11,5% för grantimret ingick i flödesoptimeringen. Samtidigt fanns inget data att tillgå för övrig flödesplanering av timmer.

För att använda principen för kolumngenerering som metod krävdes en aggregering. Ett par tidigare studier har belyst aggregering vid flödesoptimering av rundvirke (Bredström m.fl. 2004 & Edlund 2014). Aggregeringen syftade till att minska mängden manuellt arbete inför varje optimering och göra problemet hanterbart för Open Solver. Valet av församling som aggregeringsnivå byggde på en avvägning mellan upplösning och överblick samt att uppgift om aktuell församling fanns att tillgå direkt i virkesordrarna. En alternativ aggregering (t.ex. kommun) hade krävt ytterligare databearbetning och dessutom en lägre upplösning. Församlings som aggregeringsnivå innebär två tydliga nackdelar. För det första kunde detaljrikedomen bli onödigt stor. Det märktes särskilt tydligt då 47 av 124 församlingar endast hade levererat virke till ett av sågverken trots olika råvarukrav vilket innebar alternativa lösningsmetoder och merarbete. För det andra så sker en kontinuerlig förändring av Sveriges församlingsindelning i form av sammanslagningar. Resultaten av en flödesoptimering snabbt kan bli föråldrade och tillvägångsättet med kolumngenerering kräver ständiga uppdateringar av medeltransportavstånd. Alternativet, att fråsa från aggregeringen (ange transportavstånd för varje avverkningstrakt), innebär mer tidskrävande arbete inför flödesoptimeringen samt att transportavståndet från varje individuell avverkningstrakt till båda sågverken är känt innan avverkning. Den typen av beräkning kräver också mer avancerade programvaror än Open solver.

Valet av en kalendermånad som tidshorisont för flödesoptimeringen var resultatet av en avvägning i mellan studiens två huvudkomponenter; sågning och transport. Flera tidigare studier (Bergdahl, Örtendahl & Fjeld 2003, Mellqvist 2004, Poudžiūonas, Rönnqvist & Fjeld, D (2004) visade att besparingspotentialen och vinstökningspotential vid flödesoptimering av rundvirke ökade med en längre tidshorisont. Då marknadspriserna på sågad vara kunde förändras på kort sikt krävdes en kompromiss. Datum angavs som månad i virkesordrarna, vilket också blev den slutliga tidshorisonten.

Andelstalen för diameterklass 18-20cm (10,0 % för tall respektive 11,5 % för gran) för ett kalenderår (2013-08-01 till 2014-07-31) användes för att skatta mängden timmer i diameterklass 18-20cm för varje månad. Den faktiska volymen i diameterklass 18-20 cm kan ha varit både högre och lägre, både på församlingsnivå och för hela månaden. I praktiken påverkas utfallet av diameterklass av flera saker, t.ex. beståndsegenskaper och efterfrågad timmerlängder. På längre sikt bör metodiken tillvägagångsätter vara tillförlitligt, även om temporära variationer kan förekomma.

Till skillnad från ett par tidigare studier (Rönnqvist m.fl. 1998, Forsberg, Frisk & Rönnqvist 2005) togs ingen hänsyn till returflöden. Det grundade sig i att all transport av rundvirke gjordes av underentreprenörer och att flödesoptimeringen endast omfattade diameterklass 18-20cm. För att introducera returflöden bör allt intern timmer omfattas samt ytterligare sortiment (massaved, energived) och andra aktörers industrier (massabruk).

Avslutningsvis så kan en implementering av resultaten från flödesoptimering komma i konflikt med andra element i produktionskedjan. Ett exempel är om en strävan finns att maximera den totala gemensamma produktionskapaciteten ( $m^3sv/år$ ) för båda sågverken.

Produktiviten på sågverken är starkt beroende av stockarnas medelvolym. Det är därför rimligt att anta den högsta produktivitet uppnås om diameterklass 18-20cm sågas i Mörlunda. Detta då det innebär generell höjning av medelstocksvolymer på båda sågverken eftersom diameterklass 18-20 cm utgör det grövsta timret som kan sågas i Mörlunda men det klenaste timret som kan sågas i Orrefors. Ytterligare en aspekt är att en implementering innebär att produktionen av sågade trävaror koncentreras till ett fåtal produkter, något som inte nödvändigtvis är önskvärt och i sin tur kan påverka sågning av andra sågklasser. Det kan också finnas rationalitet i att endast producera vissa produkter på ett sågverk. En implementering skulle också kräva att flödesplaneringen sker innan avverkning eftersom den i praktiken justeras med förändring av apteringsinstruktionen, vilket ger långa ledtider.

Introduktionen och beräkning av  $\Delta$ PSD bör anses ha varit en intressant komplettering för metoden eftersom det möjliggjorde granskning av delar av studiens resultat i ytterligare en dimension. Beräkningarnas exakta utformning samt valet av kvantifieringen har sina begränsningar, dock gav det upphov till möjligheten att identifiera aspekter som inte var möjligt med LP-programmeringen. En mer sofistikerad och vidareutvecklad lösning kan vara en intressant aspekt som ett implementerbart komplement till en traditionell flödesoptimering vid flödesplanering av timmer.

Sammantaget bör metodvalet anses ha uppfyllt studiens krav för att uppnå ett tolkningsbart resultat, dock hade det funnits utrymme för ytterligare kompletteringar och beräkningar.

## ***4.4 Tolkning av resultatet***

### **4.4.1 Genomsnittliga nettovärdesutbyten (NYV<sub>j</sub>)**

Resultaten för de genomsnittliga nettovärdesutbytena visade på förhållandevis små skillnader i mellan olika scenarion som följd av prisförändringar på sågverksflis och sidobrädor. En generell bild av större skillnader mellan NYV i Orrefors och Mörlunda för gran än för tall vittnar om att det finns all anledning att behandla trädslagen separat. (tabell 8).

### **4.4.2 Flödesoptimering**

Tall uppvisade flera mindre förändringar av den optimala flödesplaneringens utseende (tabell 10). Skillnaderna mellan månaderna förklaras främst att mer timmer var köpt nära sågverket i Orrefors i juni 2014 än januari 2014. Det kan även ses i att antalet flödeplanerade församlingar till respektive sågverk istället var ca 50/50. Ytterligare en intressant iakttagelse var att leveranskraven i scenario L överstegs med råge (krav om 25 %, flödesplanerat ca 50 %).

Gran uppvisade nästan inga förändringar av den optimala flödesplaneringens utseende (tabell 11). Det förklarades av att skillnaderna i genomsnittliga nettovärdesutbyten förblev större än den extra transportkostnaden för sträckan mellan sågverken (82km). Det återspeglas särskilt i hur många församlingar som flödesplaneras till respektive sågverk eftersom det är oberoende av hur mycket timmer som fanns i varje församling. Vid sidan

av leveranskrav tycks endast en kraftig höjning av priset på sågverksflis och en kraftig sänkning av priset på sågverksflis tydligt påverka flödesoptimeringen för gran.

#### **4.4.3 Leveranskravets (DR<sub>j</sub>) effekt på den maximerade vinsten**

Resultaten för leveranskravets påverkan på den maximerade vinsten uppvisade stora skillnader mellan tall och gran (tabell 12). Det ligger i linje med resultaten för de genomsnittliga nettovärdesutbytena eftersom det innebär en större förlust att tvingas såga gran än tall i Mörlunda. Det ligger även i linje med resultaten från flödesoptimeringen eftersom endast miniminivån för leveranskraven uppnåddes för gran men för tall överstegs minimikraven scenario L (tabell 10) med råge. Det var en större inoptimalförlust att införa leveranskrav för gran än för tall.

#### **4.4.4 Identifiering och kvantifiering (APSD)**

Den här studiens kanske intressantaste resultat var resultatet av identifieringen och kvantifieringen av ytterligare faktorer. Beräkningen av  $\Delta$ PSD (tabell 14) för scenario A-G gav ett resultat som var oberoende av sågverkens geografiska placering i förhållande till varandra och möjliggjorde därmed en kristallisering av förändringar som inte syntes i flödesoptimeringen. Det blev tydligt att en förändring av priset på sidobrädor gav klart störst påverkan på den optimala flödesplaneringen (scenario D och E) för både tall och gran, något som inte alls kunde ses i resultaten för flödesoptimeringen av gran (tabell 11). För att ytterligare förankra tillvägagångssättet hade en beräkning för scenario H-K varit intressant, dock ansågs disponibel vara en begränsning.

Vid sidan av en beräkning av  $\Delta$ PSD för förändrade priser på sågverksflis respektive sidobrädor samt ökade transportkostnader (Scenario A-G) identifierades ytterligare tre faktorer som hade en påverkan på den optimala flödesplaneringen.

Transportkostnader för rundvirke betalas brukligen i SEK/ton/km.

Transportkostnadstarifferna var omräknade till SEK/m<sup>3</sup>toub/km, troligen av praktiska skäl eftersom timmer mäts in i m<sup>3</sup>toub och man slipper väga varje enskilt lass. Talltimmer och grantimmer har olika densitet och blir därmed också olika dyra att transportera, vilket transportkostnadstariffen tog hänsyn till. Detsamma gäller för skillnaden mellan densitetet för klenare och grövre timmer. I praktiken så innebär transportkostnadstariffens utformning att det var dyrare att transportera timmer till Mörlunda än Orrefors, men också att det vara större skillnad mellan transportkostnaden för *Sågtimmer gran* och *Klentimmer* än mellan transportkostnaden för *Sågtimmer tall* och *Klentimmer*.

Skillnaden i genomsnittlig sågkostnad var klart större än förväntat. Då båda sågverken hade samma produktivitet vid sågning av diameterklass 18-20cm ligger förklaringen i skillnaden i driftkostnad. En av orsakerna kan ha varit skillnaden i sågverkens bemanning eftersom såglinjen i Orrefors var anpassad för att såga betydligt grövre timmer, vilket också kräver mer personal och därmed högre lönekostnader. I praktiken så var skillnaden i sågkostnad så stor att om produktutfallet var detsamma för båda sågverken så skulle den optimala lösningen innebära att nästan allt timmer flödesplanerades till Mörlunda, vilket är tvärt emot studiens resultat.

Kundernas efterfrågan visade sig ha överlägset störst påverkan på den optimala flödesplanerings utformning. I den här studien så yttar den sig som möjligheten att producera produkten 63x125 i form av postning PM5. Produkten inbringade inte ett nämnvärt högre marknadspris (SEK/m<sup>3</sup>sv) än övriga centrumutbyten för tall som gran. Skillnaden låg istället i att PM5 gav ett särskilt högt centrumvolymsutbyte vid sågning av diameterklass 18-20cm och att 63x125 endast efterfrågades i tall. Vid beräkningen av  $\Delta$ PSD för kundernas efterfrågan jämfördes därför PM5 med SM1, den postning som gav högst genomsnittligt nettovärdesutbyte för gran vid sågning i Mörlunda. Det var troligen även kundernas efterfrågan som gav upphov till de trädslagsvisa skillnaderna i övriga resultat för studien.

#### ***4.5 Jämförelse med tidigare studier***

Flera tidigare studier (Bergdahl, Örtendahl & Fjeld 2003, Rönnqvist & Carlsson 1998, Mellqvist 2004, Bredström mfl. 2004, Edlund 2014,) har visat att det fanns en förbättringspotential för flödesoptimering av rundvirke. Den här studien har inte syftat till att jämföra faktisk flödesplanering med en optimal lösning.

Flera studier (Örtendahl 2001, Mellqvist 2004, Edlund 2014) syftade till att maximera vinsten av flödesoptimeringen när ett pris sattes på råvaran fritt industri. Både externa och interna industrier ingick i optimeringen. Den här studien skiljer sig då endast interna sågverk ingick samt värdet av timret fritt industri beräknades utifrån nettovärdesutbytesberäkningarna.

Bergdahl, Örtendahl & Fjeld (2003) visade på att lägre krav på leveransprecision gav större besparingspotential och vinstpotential, något som även den här studien stöder då den maximerade vinsten minskade med högre leveranskrav (tabell 12).

Rönnqvist, M. & Carlsson (2005) visade på att det är viktigt med en integrering mellan flera steg i SCM, något som även den här studien stödjer. Ranudd (2010) visa de att det finns en besparingspotential för transportkostnader om dimensionskraven på sågverken öppnas upp. Den här studien visar i stället att skillnader i nettovärdesutbyte vid respektive sågverk kan vara av större betydelse än transportkostnaden för en ökad lönsamhet.

#### ***4.6 Förslag på framtida studier***

Ett starkt tillkortkommande för den här studien endast har omfattat två sågverk. Vidare så gjordes ingen känslighetsanalys. Ett utökat antal scenarion som testas på flera sågverk, med större variationer i råvarukrav, i kombination med en känslighetsanalys skulle kunna bidra till ett bättre cementerat resultat. Det skulle också vara en fördel med att undersöka flera månader för att på så vis fånga variationer till följd av varierande tillgång av timmer.

Det vore klart önskvärt att räkna utfallet från verkliga stockar, och då gärna betydligt fler än ingick i den här studien. Ett större antal skulle krävas för att fånga variationer i krökar, ovalitet och andra deformationer. Sågverken har möjlighet att samla stora mängder data, dock är det idag begränsade av sågdatorernas utformning. Användet av verkliga stockar

skulle dessutom högst troligen minska det erforderade arbetsinsatts som krävdes för att genomföra den här studien, och därmed lämna tid åt att inkludera flera sågverk.

En aspekt som helt utelämnades i den här studien var prisförändringar på centrumutbyten. Det motiverades ursprungligen av att skillnaderna i sågteknik inte begränsade utsågning av centrumutbyten, men samtidigt vore en inkluderade av prisförändringar på centrumutbyten en styrka för att ge legitimitet åt resultaten för nettovärdesutbytesberäkningarna.

En vidare utbyggand av optimeringsmodellen där hänsyn tas till övrig produktion, samtidigt som beräkningarna av nettovärdesutbyten baseras på verkliga stockar är ett naturligt steg i forskningen.

Ett annat alternativ är en jämförelse mellan en traditionell transportkostnadsminimering och en flödesoptimering med hänsyn till sågverken lönsamhet.

#### **4.7 Slutsatser**

Ökade transportkostnader och ökade leveranskrav påverkade transportkostnaderna vilket i sin tur påverkade den optimala flödesplaneringen av timmer. Prisförändringar på sågverksflis respektive sidbrädor påverkade det genomsnittliga nettovärdesutbytet som i sin tur påverkade den optimala flödesplaneringen av timmer. Tall och gran påverkades olika. Effekterna var dock inte alltid direkt synbara i resultaten för flödesoptimeringen.

Användandet av  $\Delta$ PSD erbjuder en alternativ möjlighet att kvantifiera en eller flera faktorerers effekt på den optimala flödesplaneringen oavsett sågverkens geografiska placering i förhålland till varandra.

De identifierade faktorerna *skillnader i sågkostnad mellan sågverken och kundernas efterfrågan på sågade trävaror* hade överlägset störst påverkan på den optimala flödesplaneringen.

Ökad integrering mellan flödesplaneringen av timmer och sågverkens produktion kan vara ett sätt att nå en ökad lönsamhet för sågverksindustrin.

## Referenslista

### *Litteratur*

Grönlund, A. (1992b). *Sågverksteknik del 2- Processen*. Markaryd. Sveriges Skogsindustriförbund. (sid 270)

Nylinder, M. & Fryk, H. (2011). *Timmer*. ss. 162-177. Uppsala. Institutionen för skogens produkter.

Skogsstyrelsen (2013). *Skogsstatistisk årsbok 2012*. ss. 175-186, 200-218. Skogsstyrelsen Jönköping.

### *Vetenskapliga skrifter*

Bengtsson, P. (2012). *Rätt pris för timmerråvaran- en kalkylmodell för Moelven Vänerply AB*. Institutionen för skogens produkter, Uppsala. Sveriges Lantbruksuniversitet. (2012:103, Examensarbete).

Bergdahl, A. Örtendahl, A. & Fjeld, D. (2003). The economic potential for optimal destination of roundwood in North Sweden- Effects of Planning Horizon and Delivery Precision. *International Journal of Forest Engineering*, 14:1, ss. 81-88.

Bredström, D. Lundgren T, J. Rönnqvist, M Carlsson, D. and Mason, A. (2004) Supply chain optimization in the pulp mill industry, column generation and novel constraint branches. *European Journal of Operational Research*, 156, ss. 2-22.

Brunberg, T. (2010) *Skogsbrukets kostnader och intäkter 2009*. Uppsala. Skogforsk. (Rapport 2010:7).

Brunberg, T. (2011) *Skogsbrukets kostnader och intäkter 2010*. Uppsala. Skogforsk. (Rapport 2011:4).

Brunberg, T. (2013) *Skogsbrukets kostnader och intäkter 2012*. Uppsala. Skogforsk. (Rapport 2012:8).

Brunberg, T. (2014) *Skogsbrukets kostnader och intäkter 2013*. Uppsala. Skogforsk. (Rapport 2014:69).

Edlund, B. (2014). *Beslutstöd för virkeshandel och flödesplanering- Vidareutveckling av NETRA*. Institutionen för skoglig resurshushållning. Sveriges Lantbruksuniversitet. (Arbetsrapport 2014:425, Examensarbete).

Fohlin, P. Silver, M. (1997) *Kvantitativa modeller för lokalisering av sågverk-med tillämpning i Norrbottens län*. lic. Luleå tekniska Universitet.

Forsberg, M. Frisk, M. Rönnqvist, M. (2005) Flowopt- A decision support tool for strategic and tactical transportation planning in Forestry. *International Journal of Forest Engineering*, 16:2, ss. 101-114.

Hoflund, P. (2013). *Sågklassläggning vid Krylbo såg- En studie med syfte att öka sågutbytet*. Institutionen för skogens produkter, Uppsala. Sveriges Lantbruksuniversitet. (2013:119, Examensarbete).



- Johansson, M. (2007) *Product Costing for Sawmill Business Management*. Diss. Växjö Universitet. Växjö: Växjö University press.
- Korpinen, H. Mochan, S. & Uusitalo, J. (2011) An Activity based costing method for sawmilling. *Forest Products Journal*, 60:5, ss.420-431.
- Lindholm, G. (2006). *Sågverksbranschens kostnads och intäktsstruktur-undersökning, analys och trender inom sågverksnäringen*. Institutionen för skogens produkter och marknader. Sveriges Lantbruksuniversitet. (Examensarbetaren 2006:79)
- Lindman, M. (2005). *Sågutbytets påverkan för den svenska sågverksindustrins lönsamhet*. Institutionen för Industriell ekonomi och samhällsvetenskap. Luleå Tekniska Universitet. (C- uppsats 2005:068).
- Lycken, A. Oja, & Lundahl, C.G. (2008) *Kundanpassad optimering i såglinjen- Virkeskvalitet On-line*. Stockholm: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP Rapport 2009:05).
- Mellqvist, P. (2004). *Analys av massaveds samt timmerflöde med transportoptimeringsmodellen NETRA*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsteknologi. (Examensarbete 2004:69)
- Niklasson, M (2000). *Produktkalkylering i sågverk: en modell för beräkning av postningars lönsamhet*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skoglig marknadsinriktning. (Examens- och seminariearbeten 2000:155).
- Poudžiūonas, M. Rönnqvist, M & Fjeld, D (2004). The potential of tactical planning of roundwood transport in Lithuanian state forest enterprises. *Baltic Forestry*. 10 (1) ss.79-88.
- Ranudd, P. (2010). *Optimering av råvaruflöden för Setra*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogens produkter. (Examensarbete 2010:59).
- Rosenquist, B. (2007). *Bidragsanalys av dimensioner och postningar- En studie vid Vida Alvesta*. Institutionen för skogens produkter. Sveriges Lantbruksuniversitet. (Examensarbeten 2007:2)
- Ringman, M. (1995). *Trädbränslesortiment-Definitioner och egenskaper*. Institutionen för virkeslära. Sveriges Lantbruksuniversitet (Fakta Skog 1995:5)
- Rönnqvist, M. & Carlsson, D. (1998). Tactical planning of forestry transportation with respect to backhauling. Lith-MAT-R-1998-13.
- Rönnqvist, M. & Carlsson, D. (2005). Supply chain management in forestry-case studies at Södra Cell AB. *European Journal of Operational Research*, 163, ss.589-616.
- Tunes, T. Nyruud, A.Q. & Eikenes, B. (2008). Joint cost allocation in the sawmilling industry: Four methods for estimating raw material costs. *Forest products journal*. vol.58,(nr.3), ss.77-84.

## ***Övriga Skrifter***

Andersson, T. (2011). Sågverksdöd kan ge sämre betalt. *ATL*, 29 augusti.

Skogsindustrierna (2012). Sågverkskris med ljusglimtar. *Skog & Industri*, Nr 4 2012, ss.8-9.

Skogsindustrierna (2014). *Skogsindustrin- en faktasamling- Branschstatistik 2013*. Stockholm. Skogsindustrierna. [Broschyr]

SDC (2014) Violkoder v. 6.2.ss.43-45.

Såg i Syd (2014a) Sågade Trävaror. *Skog & Såg*, Nr 1 2014, ss.1-2

Såg i Syd (2014b) Goda tider trots allt. *Skog & Såg*, Nr 2 2014, ss.1-2

## ***Webb***

Bergs Timber AB (uå) *Historia och Vision*. <http://www.bergstimber.se/sv/koncernen/om-oss/> [2014-09-08]

Sveriges officiella statistik (2014) *Valuta kurser, årsgenomsnitt 1980-2013*. Tillgänglig online <http://www.scb.se/sv/Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/22678/Allmant/Sveriges-ekonomi/Aktuell-Pong/31243/EK0205/32240/>

Skogsindustrierna (2013-08-15)a *Transport*.  
<http://www.skogsindustrierna.org/branschen/branschfakta/transport> [2014-09-10]

Skogsindustrierna (2013-09-12)b *sågverken en svag ljusglimt när svag efterfrågan fortsätter att pressa skogsindustrin*.  
<http://www.skogsindustrierna.org/pressrum/nyheter/nyheter-2013/sagverken-en-svag-ljusglimt-nar-svag-efterfragan-fortsatter-att-prensa-skogsindustrin>

VMF Qbera (2015) *Virkesorder*.  
<http://www.vmfqbera.se/default.asp?id=5054&ptid=4683&refid=5281> [2015-02-01]

## ***Personlig kommunikation***

Bertilsson, M. (2014) Bergs Timber AB, mejlkorrespondens, [11:00 2014-09-12]

Sääw, F (2014), Bergs Timber AB, telefonsamtal, [13:30 2014-09-08]