

Resurseffektiv skörd av biomassa genom integrerad produktions- och flödesstyrning

Resource-efficient biomass harvest through integrated control of production and flows



FOTO: ERIK VIKLUND

Summary

Population increase and growing prosperity necessitate greater efficiency in resource management. Forest industry products are playing a significant role in Sweden's ability to switch to a circular bioeconomy, and also contribute to reducing the overall environmental and climate impact, both nationally and internationally. Swedish forest industry is customer-oriented, which means that forest organisations aim to deliver the right raw material, in the desired quantity and at the right time, to a specific customer. Industrial customers are becoming more specific when placing orders, so there is growing need for information about the raw material. This places high demands on quality and flexibility in production control and flow control.

In most forest organisations, flow control and production control are two parallel processes with a low degree of integration. Currently, decisions regarding bucking by the harvester do not consider the transport and production cost for each assortment from the site to the recipient industries. Incorporating the transport cost in the bucking decision might generate potential to increase total net value, while also improving climate performance by reducing transport distance. This could enable a more flexible and efficient method of working, by adapting the proportions of timber, pulp and fuel assortments on the basis of proximity to recipient industries.

The aim of this project was to examine a value optimisation model in bucking decisions that also consider transport costs, and the effects on quantity, economy and environmental impact. If implemented, this method of working might increase the net value in the forest value chain, while reducing climate impact through shorter transport distances and increasing energy efficiency.

The project, comprising two case studies, showed that an integrated model for production and flow control increased total net value by 2 and 4 percent respectively for the two companies concerned, the result of shorter transport distances and greater resource efficiency. However, the potential could be further increased by using market prices and implementing the optimisation model over larger geographical areas than the small areas used in the case studies. In practice, the model could be used in planning of raw material supply or as a basis for business agreements. The results can be used in different ways, depending on the issue, so it is important to understand the limitations of the model to prevent overly broad conclusions being drawn.

Förord

Denna studie har finansierats med bidrag från Energimyndigheten och genomförts tillsammans med Södra och Sveaskog. Tack till Thomas Frick och Oskar Englund (Södra) samt Fredrik Rajala (Sveaskog) för er tid och ert engagemang.

Uppsala i september 2019

Sara Holappa Jonsson, Victor Asmoarp & Ingemar Eriksson

Innehåll

Summary.....	2
Förord	3
Sammanfattning.....	5
Bakgrund	6
Syfte och mål.....	7
Metod.....	8
Fallstudier	8
Datahantering och beräkningar	9
Optimering med BisBucker	12
Efterfrågan	13
Resultat.....	14
Förändringar – totalt per scenario.....	14
Företag A.....	14
Företag B.....	14
Volymförändringar per sortiment och scenario	15
Företag A.....	15
Företag B.....	16
Förändring i netto och medeltransportavstånd per produkt.....	16
Företag A.....	16
Företag B.....	18
Diskussion	20
Slutsats.....	23
Referenser.....	24

Sammanfattning

Behovet av ökad resurs- och hushållningseffektivitet ökar i takt med befolkningstillväxt och ökat välbefinnande. Skogsindustrins produkter har en betydande roll för Sveriges möjligheter att övergå till cirkulär bioekonomi och samtidigt minska den totala miljö- och klimatpåverkan, både nationellt och internationellt. Svensk skogsindustri är kundorienterad, vilket innebär att skogliga organisationer strävar efter att leverera rätt råvara, av önskad kvantitet vid önskad tidpunkt till en specifik kund. I takt med att industri- kundernas önskemål blir alltmer mer specifika ökar informationsbehovet om råvaran. Detta ställer höga krav på kvalitet och flexibilitet för produktions- och flödesstyrning.

I de flesta skogliga organisationer är flödesstyrning och produktionsstyrning två parallella processer med låg integration. Styrningen av skördarens aptering tar i dagsläget inte hänsyn till transport- och produktionskostnad för respektive sortiment från en avverkningsstrakt till mottagande industrier. Med anpassning till transportkostnad vid apteringsbeslutet finns en potential att skapa ett högre totalnetto och samtidigt förbättrade klimatprestanda genom kortare transportavstånd. Detta skulle kunna möjliggöra ett mer flexibelt och rationellt arbetssätt med anpassning av fördelningen mellan timmer-, massa- och bränslesortimenten utifrån närhet till mottagande industrier.

Syftet med projektet var att utreda hur kvantitet, ekonomi och miljöpåverkan påverkas av att värdeoptimeringen i skördarens aptering även tar hänsyn till kostnader för transport. Ett sådant arbetssätt förväntas vid implementering öka nettot i den skogliga värdekedjan, förbättra klimatprestanda genom kortare transportavstånd samt öka energieffektiviteten.

Resultaten från studien visade att en integrerad modell för produktions- och flödesstyrning i dessa två fallstudier ökade det totala nettot med 2 respektive 4 procent för de två involverade företagen, genom kortare transportavstånd och därmed en högre resurseffektivitet. Dock finns möjligheter att ytterligare öka potentialen genom att använda marknadspriser och genomföra optimeringarna för större områden än de begränsade geografier som användes i fallstudierna. Modellen skulle i praktiken kunna användas till planering av råvaruförsörjning eller som underlag vid affärsuppgörelser. Beroende på vilken fråga som ska besvaras, kan resultaten användas på olika sätt och därmed är det viktigt att förstå modellens begränsningar så att inte allt för vida slutsatser dras.

Bakgrund

Behovet av ökad resurseffektivitet stiger i takt med befolkningstillväxt och ökat välstånd. Skogsindustrins produkter har en betydande roll för Sveriges möjligheter att övergå till cirkulär bioekonomi och därigenom minska den totala miljö- och klimatpåverkan, både nationellt och internationellt (Andrén m.fl., 2016). Svensk skogsindustri är kundorienterad, vilket innebär att skogliga organisationer strävar efter att leverera rätt åvara, av önskad kvantitet vid önskad tidpunkt till en specifik kund (Carlsson & Rönnqvist, 2005). I takt med att industrikundernas önskemål blir alltmer specifika ökar informationsbehovet om råvaran. Detta ställer höga krav på kvalitet och flexibilitet för produktions- och flödesstyrning (Holappa Jonsson, 2018; Wilhelmsson m.fl., 2002). I de flesta skogliga organisationerna är flödesstyrning och produktionsstyrning två parallella processer med låg integration. En logistikavdelning arbetar vanligtvis med att bestämma kundernas fångstområde genom transportkostnadsminimering medan virkesspecialisterna (eller motsvarande) konstruerar apteringsinstruktioner till skördarna för att maximera virkesvärdet för skogsägare och mottagande industrikund. Förutsättningarna mellan olika organisationer skiljer sig åt eftersom en del aktörer har både egen skog och egna industrier, medan andra har det ena eller det andra, alternativt varken egen skog eller egna industrier. Vanligtvis har integrerade företag, med både egen skog och egna industrier, möjlighet att vara mer flexibla när det gäller att styra virkesflödena utifrån industrikundernas behov, eftersom de kan ha en mer öppen och transparent kommunikation mellan industri och råvaruförsörjningen. Företag med egen industri tenderar dessutom ofta att vara mer inriktade på att försörja den egna industrin primärt, vilket har ett värde som inte har någon direkt koppling till apteringsbeslutet.

Vid aptering av timmer används ofta så kallad fördelningsaptering, där prismatrisen styr mot en önskad fördelning mellan olika längder och diametrar utifrån sågverkets önskemål. Strikt värdeaptering skapar däremot de produkter som genererar högst värde per stam (von Essen & Möller, 1997). Vid värdeaptering riskerar leverantören att leverera en större mängd stockar inom specifika dimensioner än vad sågverket har avsättning för, eftersom sågverken ofta har flera olika produktsegment och därmed behöver olika längd- och diameterklasser. Timret utgör det högsta värdet när det gäller ersättning till skogsägare, vilket återspeglas i apteringsinstruktionerna, följt av massaved och bränslesortiment i form av både stamved och grot (grenar och toppar). Sett ur ett energiperspektiv ger samtliga tre sortimentsgrupper betydande bidrag till det svenska energisystemet. Av det sönderdelade oförädlade skogsbränsle som producerades 2017, utgjordes 6,2 TWh av stamvedsflis och 8,5 TWh av grothflis (Energimyndigheten, 2019).

Transportkostnaderna står för ungefär 30 procent av den totala råvaruanskaffningskostnaden inom svensk skogsindustri (Frisk m.fl., 2010; Constantino & Eliasson, 2019). Styrningen av skördarens aptering tar i dagsläget inte hänsyn till transport- och produktionskostnad för respektive sortiment från en avverkningstrakt till mottagande industrier. Med anpassning till transportkostnad vid apteringsbeslutet borde det finnas en potential att skapa ett högre totalnetto och samtidigt en ökad klimatprestanda genom kortare transportavstånd. Detta skulle kunna möjliggöra ett mer flexibelt och rationellt arbetssätt med anpassning av fördelningen mellan timmer-, massa- och bränslesortimenten utifrån närhet till mottagande industrier.

Skogsbrukets skördare är ständigt uppkopplade och kommunicerar produktionsrapporter till produktionsledare och industri samtidigt som virkesspecialister kan skicka ut nya eller uppdaterade apteringsinstruktioner till skördaren (Arlinger m.fl., 2012). Detta flöde av realtidsinformation möjliggör snabb omställning av produktionen vid förändringar i industrins efterfrågan eller om utfallet från avverkningstrakterna inte motsvarande beställningen. Det ständiga flödet av produktionsrapporter från skördare innebär att det finns ett stort datamaterial som beskriver den avverkade skogen. Skogforsk har sedan några år tillbaka börjat lagra skördardata i en databas. Skördardata kan användas för att göra utbytesprognoser av stående skog inför avverkning, exempelvis genom så kallad imputering. Dessutom möjliggör informationen apteringssimuleringar, vilket innebär att det går att testa sortimentsutfall vid olika apteringsinstruktioner (Möller m.fl., 2017). Dessa verktyg är en förutsättning för att kunna göra en integrerad flödes- och produktionsstyrning.

Skogforsk har i en mindre förstudie testat om det genom att ta hänsyn till transportkostnaden vid apteringsbeslutet är möjligt att öka nettot från avverkningen. Förstudien utgick från hypotesen att transportkostnaden påverkar nettot för att aptera respektive produkt/sortiment. Resultatet från förstudien indikerade att när värdet på respektive sortiment reducerats med avverkningstraktens faktiska transportkostnad, ökade det genomsnittliga värdet på det skördade timret med 11 kr/m³fub vid industrigrind. En kostnadsreduktion av denna storlek innebär en betydande förbättring av biomassans konkurrenskraft gentemot konkurrerande, ofta fossila, bränslen. Det skulle också öka incitamentet att ta ut virke som genererar stora mängder biobränsle i form av biprodukter i den förädlade industrin. Fallstudien byggde på ett fiktivt scenario och ett relativt litet dataunderlag, vilket innebär att det är svårt att dra några allmängiltiga slutsatser av resultatet. Studien gav ändå en indikation på att detta borde utredas vidare för övriga sortiment – inte minst för att förstå effekterna på biobränslesortimentet.

SYFTE OCH MÅL

Syftet med projektet var att utreda hur volymsutfall, ekonomi och miljöpåverkan påverkas av att värdeoptimeringen i skördarens aptering även tar hänsyn till kostnader för transport. Ett sådant arbetssätt förväntas vid implementering öka nettot i den skogliga värdekedjan, öka klimatprestandan genom kortare transportavstånd samt öka energieffektiviteten i produktionen.

Målet med projektet var att ta fram en integrerad modell för optimering av skördarens aptering som, utöver optimering av produktvärde och utbyte, även inkluderar kostnader för transport i optimeringen.

Metod

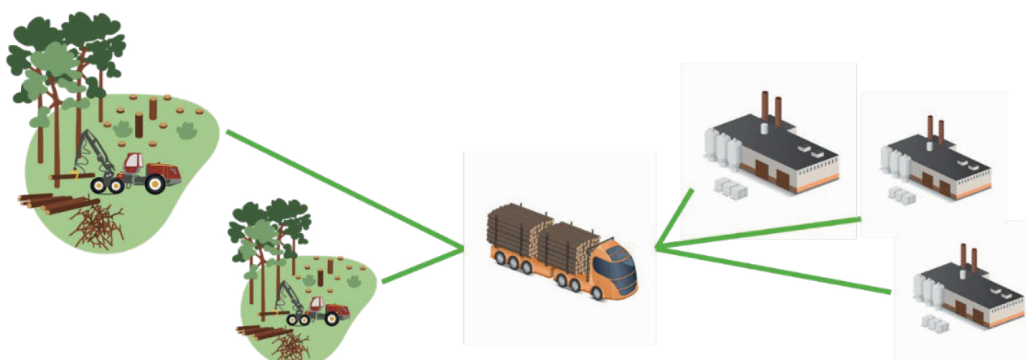
FALLSTUDIER

Frågorna som skulle besvaras var följande:

Hur påverkades virkesflödet av en integrerad modell för optimering av skördarens aptering som, utöver optimering av produktvärde och utbyte, även inkluderade kostnader för produktion och transport i optimeringen, med avseende på följande nyckeltal:

- Volymutfall för respektive produkt och sortiment och därmed fördelningen mellan produkter och olika sortiment
- Den totala kostnaden från avverkning till industri, dvs.
 - o Virkesvärde utifrån skördarens prismatris - totalt och $\text{kr/m}^3\text{f}$
 - o Transportkostnad – totalt och $\text{kr/m}^3\text{f}$
 - o Netto (Virkesvärde minus transportkostnad) – totalt och $\text{kr/m}^3\text{f}$

Sortiment utgörs av t.ex. som grantimmer, talltimmer, klintimmer av tall, klintimmer av gran, tallkubb, grankubb, barrkubb, barrmassaved, granmassaved, lövmassaved och bränsleved. En produkt definierades i denna studie som kombinationen sortiment och mottagningsplats. En mottagningsplats kan ha flera produkter beroende på egenskaper (som exempelvis trädslag).



Figur 1: Visualisering av frågeställning

Studien utfördes stegvis:

- 1) Jämförelse mellan två fiktiva scenarion, med eller utan transport- och produktionskostnad inräknat. I detta steg var det den ursprungliga uppsättningen produkter som utvärderades. Det ställdes inga krav på efterfrågade volymer från respektive mottagande industri.
- 2) I steg två tilläts alla tillgängliga produkter för varje enskilt bestånd, med och utan hänsyn till transportkostnad.
- 3) Som tredje steg ställdes krav på efterfrågade volymer för respektive industri. Inom varje objekt fick alla produkter produceras, oavsett vilka produkter som producerats inom ett enskilt objekt i verkligheten.

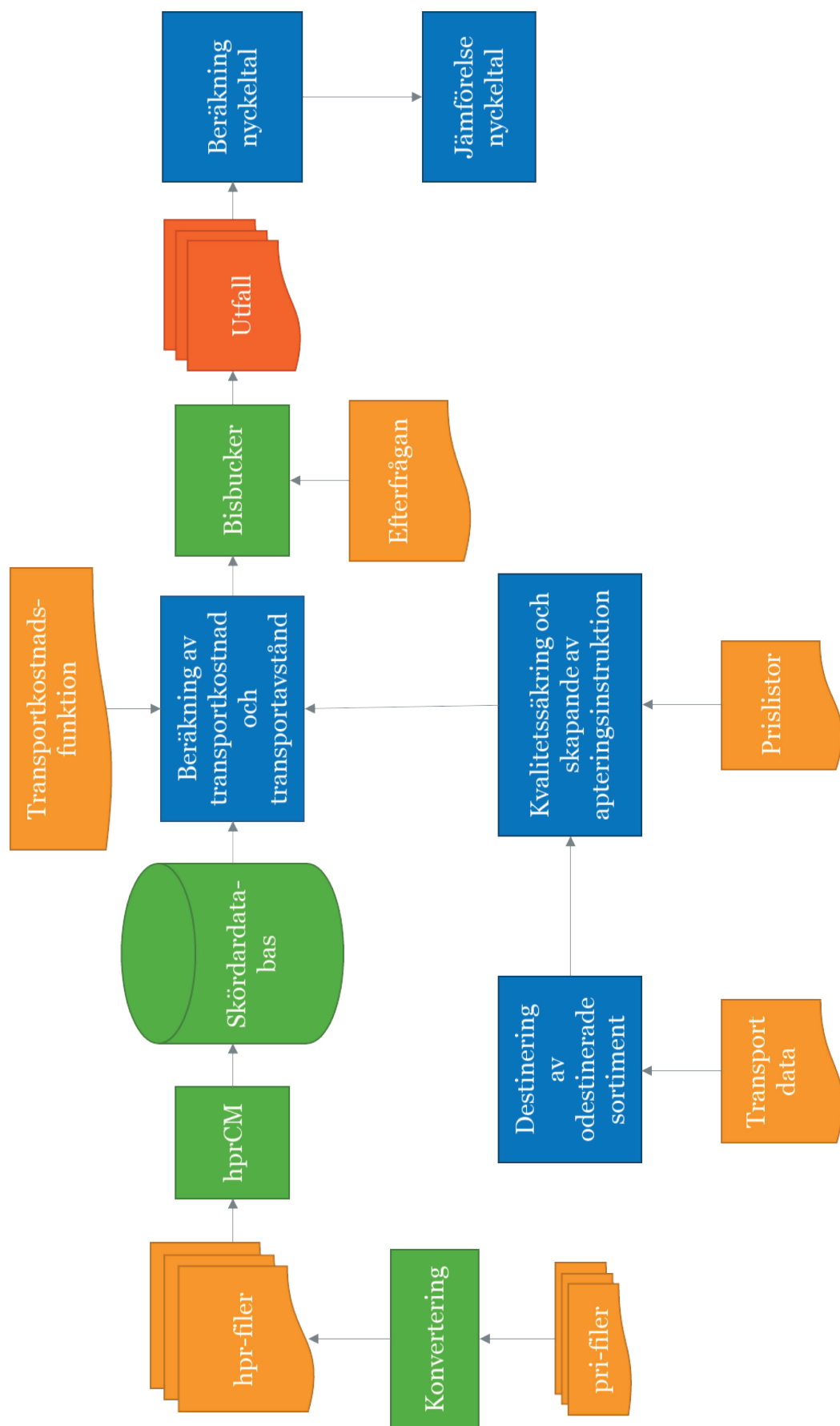
Därefter gjordes en jämförelse av resultaten från tidigare steg mot faktiskt producerad volym och inmätt volym som en del av modellvalideringen.

Scenarierna för respektive företag beskrevs således;

- S1. De ursprungliga produkterna som producerats per trakt, utan hänsyn till transportkostnad (referensscenario)
- S2. De ursprungliga produkterna som producerats per trakt, med hänsyn till transportkostnad
- S3. De produkter som totalt producerats på alla trakter tillåts på respektive trakt, utan hänsyn till transportkostnad
- S4. De produkter som totalt producerats på alla trakter tillåts på respektive trakt, med hänsyn till transportkostnad
- S5. De produkter som totalt producerats på alla trakter tillåts på respektive trakt, med krav på efterfrågan (total uppfylld volym per produkt) och med hänsyn till transportkostnad

DATAHANTERING OCH BERÄKNINGAR

Arbetsgången beskrivs i figur 2.



Figur 2. Systemskiss över arbetsgång.

Skördardata och transportdata erhöles från Södra och Sveaskog. Tidsperioden för skördardata avgränsades till en månads produktion, vilket resulterade i totalt 134 objekt. Det önskvärda formatet för skördardata är hpr-filer (harvester production files), där information om varje enskild stock och träd lagras. Alla skördare rapporterar dock inte hpr-filer, därför behövde skördardata som rapporterats enligt det gamla formatet (pri-filer) konverteras för att dessa skulle kunna läsas in i skördardatabasen. Konverteringen av pri-filerna påverkade dock inte datakvaliteten för denna studie.

Modulen hprCM återskapar stammarnas toppar enligt en funktion utvecklad av Kiljunen (2002), vilket behövs eftersom skördaren inte registrerar något kap för sista delen av toppen på ett träd. I detta steg korrigeras även orealistiska värden, som exempelvis uppenbart felaktiga värden för brösthöjdsdiameter.

Transportdata samlades in för 6 månader med samma startdatum som skördardatat för att ta hänsyn till ledtider. Transportdata innehöll information om vilka sortiment som transporterats från respektive avverkningsobjekt till respektive industri. Eftersom alla sortiment (massaved och bränsleved) inte hade någon förutbestämd mottagningsplats i hpr-filerna användes historiska transportdata för att skapa produkter utifrån definitionen sortiment kombinerat med mottagningsplats.

Vid beräkning av transportavstånd hämtades indata om x- och y-koordinater för objekt (genom skördardata) och mottagningsplatser (från Skogforsks transportdatabas). Därefter beräknades avstånd (km) enligt Nationella Vägdatabasen (NVDB) från respektive objekt till respektive mottagningsplats.

Transportkostnadsfunktionen definierades enligt följande:

$$y = kx + m$$

där

y är transportkostnad i kr/m³fub

k är avståndsbaserad kostnad

x är avståndet

m är fast kostnad

Prismatriserna kvalitetssäkrades för att säkerställa att de prismatriser som använts i skördarna var aktuella och att manuella korrigeringar inte gjorts. Även om olika prismatriser för massaveden och bränsleveden använts i skördarna valdes en ut för respektive sortiment (dvs. barrmassaved, granmassaved, lövmassaved, bränsleved löv och bränsleved barr) och företag som tillämpades för samtliga mottagningsplatser och skördare med det specifika sortimentet.

För varje produkt skapades en instruktion med ID, mottagningsplats, kvalitet (timmer, massaved eller bränsleved), måttslag (m³fub eller m³to), trädslag, sortiment, beskrivning samt stocktyp (rotstock eller topp- /mellanstock) (Figur 3). Stocktypen angavs eftersom det fanns produkter med klass-1-krav från Biometrias timmerklassning, som bland annat kräver att stocken är en rotstock. Utan denna differentiering blir andelen stockar som har möjlighet att bli en högt betald timmerprodukt oproportionerligt hög. Samtidigt finns flera kvalitetskrav för att en rotstock ska kunna bli klass 1, dessa kunde dock inte hanteras i denna studie eftersom klassningen sker genom visuell bedömning av stocken. Ett exempel på en sådan kvalitetsparameter är kvistförekomst på mantelytan.

Bränsleveden hanterades genom att de stockar som angivits som bränsleved i skördaren (på grund av exempelvis röta), alltid blev bränsleved. Detta hindrar dock inte modellen från att skapa energived i de fall det är lönsammare än en alternativ produkt.

Id		10
mtpl		11111
kval [TI MV][EV]		TI
volkat [TO FUB]		TO
spec [234 345..]		345
SST		012
label	Grantimmer_11111	
Stocktyp [BUTT,ALL]		ALL

Figur 3: Exempel på produktinstruktion (exklusive prismatris). Varje Id är unikt för kombinationen av mottagningsplats (mtpl), kvalitet (kval), trädslag (spec) och sortiment (SST). Label är den förklarande texten till varje Id, t.ex. Grantimmer_11111 (Grantimmer till fiktiv mottagningsplats 11111). Stocktypen beskriver rotstock (BUTT) eller övrig (ALL).

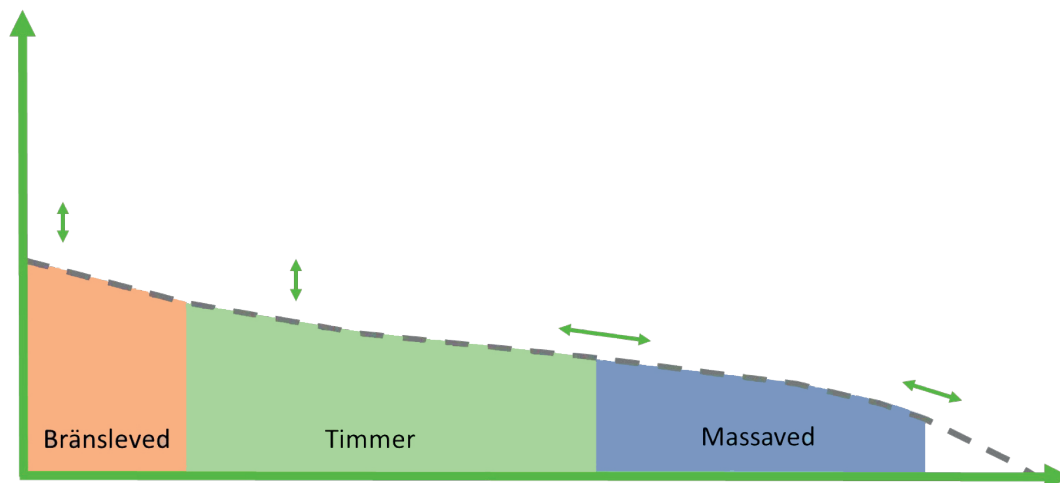
Företagen fick ge feedback på det genomsnittliga virkesvärdet per sortiment och därefter gjordes några mindre justeringar för att få prismatriserna så realistiska som möjligt. Eftersom både tall och gran tillåts för barrkubb och barrmassaved, medan endast gran tillåts för granmassaved, höjdes priset på granmassaveden i de lägre dimensionerna för att möjliggöra konkurrens mellan granmassaved och barrmassaved.

OPTIMERING MED BISBUCKER

Under projektet utvecklades den integrerade modellen BisBucker som tar hänsyn till både virkesvärde och transportkostnader vid destineringsbeslutet. Modellen liknar Aptan, som är ett verktyg som kan användas för apteringssimuleringar och jämförelse av prismatriser (Möller m.fl., 2017). Den främsta skillnaden mellan BisBucker och Aptan är att BisBucker arbetar med lägre upplösning, vilket i sin tur leder till högre prestanda och bättre möjlighet att lösa omfattande scenarion med många beslutsvariabler.

BisBucker hämtar produktinstruktioner samt stamdata per avverkningsobjekt från databasen. Med hjälp av stam- och stockdata rekonstrueras virtuella stammar med diametervektorer och kvalitetsgränser (Figur 4). Dessa utgör sedan underlag för en stor mängd apteringsalternativ. Produktinstruktionerna används för att värdera alternativen och optimeringen avgör slutligen vilket apteringsalternativ som ger högst värde.

Transportkostnaden kan tas med i beräkningen genom att produkternas prismatriser reduceras med transportkostnaden från respektive trakt. I praktiken innebär detta att produktvärdet minskar med ökat avstånd och således att konkurrenskraften avtar i relation till andra produkter.



Figur 4: Exempel på sortimentsfördelning vid generering av apteringsalternativ för en stam.

När optimeringen av de bästa alternativen per trakt utförts, korregerar modellen volymer per produkt som understiger 10 m³fub. Detta görs genom att de produkter som fått små volymer inte tillåts, därav utförs en ny apteringssimulering som portionerar ut de små volymerna på de andra produkterna som producerats på trakten.

EFTERFRÅGAN

Resultaten från körningarna i steg 1, där bara de ursprungliga produkterna som producerats tillåts för varje trakt och med hänsyn tagen till transportkostnad, användes för att skapa en efterfrågad volym per mottagningsplats. Vid själva optimeringen tillåts alla produkter för varje trakt, men de totala volymerna per sortiment och mottagningsplats skulle motsvara volymkravet, med ett spann på en accepterad lägsta och högsta nivå per mottagningsplats. De mottagningsplatser med relativt låga volymer från steg 1 fick inget lägsta krav på levererad volym, men däremot fick de ett önskemål som motsvarade den producerade volymen från steg 1.

För att lösa efterfrågekravet per produkt skapade algoritmen en optimal lösning för varje trakt utifrån virkesvärde och transportkostnad och därefter kalibrerade algoritmen om fördelningen av volymer per produkt genom att höja och sänka priset för olika produkter till dess att volymerna låg inom det accepterade spannet per produkt. På detta sätt skapades ett värde för hur mycket priset på en produkt skulle behöva höjas för volymkravet skulle uppnås.

Resultat

FÖRÄNDRINGAR – TOTALT PER SCENARIO

Företag A

För företag A, ökade nettot med en procent mellan S1 (referensscenario) och S2, alltså genom att optimera produktionen av de ursprungliga uppsättningen produkter per trakt med hänsyn till transportkostnad. Samtidigt minskade medeltransportavståndet med 8 procent (Tabell 1).

I scenario S3 ökade medeltransportavståndet med 13 procent jämfört med scenario 1. Trots detta ökade det totala nettot med två procent när alla produkter tilläts för respektive trakt (S3), vilket beror på att det totala virkesvärdet ökade med tre procent jämfört med scenario 1. I scenario 4, när alla produkter tilläts per trakt samtidigt som hänsyn till transportkostnad togs, ökade nettot med fyra procent jämfört med scenario 1, till följd av högre virkesvärde och lägre transportkostnad (Tabell 1).

Scenario 5 ökade medeltransportavståndet jämfört med S2 och S4, men blev lägre än i de scenarier där hänsyn till transportkostnad inte tagits (S1 och S3). Medeltransportavståndet i S5 minskade med fyra procent jämfört med S1. Det totala nettot för S5 ökade med två procent jämfört med S1 till följd av ett högre virkesvärde och lägre transportkostnad. Däremot blev det totala nettot lägre i S5 än S3 och S4, där det inte fanns några restriktioner kring volymer per produkt.

Antalet sortiment per trakt minskade i genomsnitt från sju sortiment i scenario 1, till sex sortiment i scenario 2. Scenario 3 genererade tio sortiment per trakt medan scenario 4, respektive 5, genererade åtta sortiment per trakt.

Tabell 1. Resultat företag A - Total volym (m³fub), Förändring i totalt virkesvärde (%), förändring i total transportkostnad (%), förändring i medeltransportavstånd (%) och förändring i totalt netto (%) per scenario (S2 – S5) jämfört med S1.

Scenario	Total volym, m ³ fub	Förändring virkesvärde, %	Förändring transportkostnad, %	Förändring medeltransportavstånd, %	Förändring Netto, %
S1 (ref.)	37 823	X kr	X kr	85 km	X kr
S2	37 823	0 %	-5 %	-8 %	+1 %
S3	37 843	+3 %	+8 %	+13 %	+2 %
S4	37 843	+3 %	-6 %	-8 %	+4 %
S5	37 842	+1 %	-3 %	-4 %	+2 %

Företag B

För företag B följer resultaten samma mönster som för företag A, dock var skillnaderna större i de alternativ där samtliga produkter tilläts (S3, S4 och S5). Den totala nettoökningen av att endast tillåta de ursprungliga produkterna men ta hänsyn till transportkostnad (S2) är en procent jämfört med S1, likt företag A (Tabell 2).

Däremot blev nettoökningen vid S3 och S4 12 respektive 15 procent, vilket hänger ihop med ökningen av virkesvärdet. Vid hänsyn till efterfrågan och transportkostnad (S5) ökade nettot med fyra procent jämfört med S1, samtidigt som medeltransportavståndet minskade med 14 procent (Tabell 2).

Antalet sortiment per trakt (i medelvärde) minskade från nio sortiment i scenario 1, till åtta i scenario 2. Scenario 3 genererade 14 sortiment per trakt medan scenario 4 och 5, genererade nio respektive 11 sortiment per trakt.

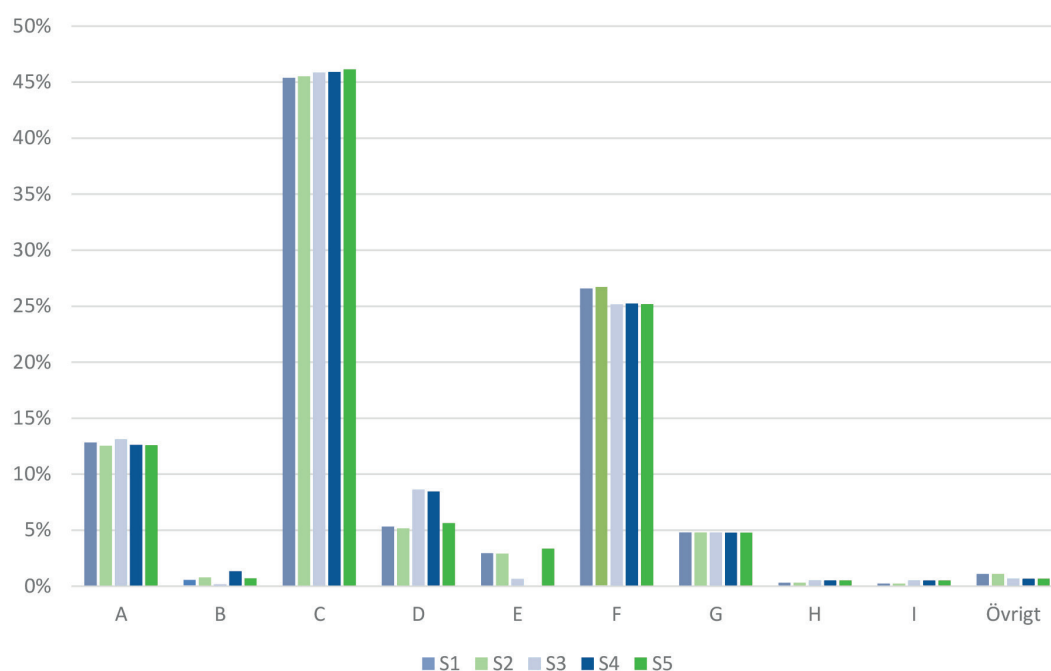
Tabell 2. Resultat företag B - Total volym (m³fub), Förändring i totalt virkesvärde (%), förändring i total transportkostnad (%), förändring i medeltransportavstånd (%) och förändring i totalt netto (%) per scenario (S2 – S5) jämfört med S1.

Scenario	Total volym, m ³ fub	Förändring virkesvärde, %	Förändring transportkostnad, %	Förändring medeltransportavstånd, %	Förändring Netto, %
S1 (ref.)	96 495	X kr	X kr	74 km	X kr
S2	96 492	+1 %	-6 %	-9 %	+1 %
S3	96 529	+12 %	+11 %	+17 %	+12 %
S4	96 528	+15 %	-5 %	-8 %	+15 %
S5	96 533	+4 %	-9 %	-14 %	+4 %

VOLYMSFÖRÄNDRINGAR PER SORTIMENT OCH SCENARIO

Företag A

För företag A var den totala skillnaden mellan andelar volym per sortiment relativt liten (Figur 5). Den tydligaste sortimentsvandringen skedde i scenario 3 och 4, när samtliga produkter tilläts för varje enskild trakt, utan krav på efterfrågan. I scenario 4 ökade andelen av sortiment D, medan andelen av sortiment E minskade. Andelen sortiment C ökade något, samtidigt som andelen sortiment F minskade, vilket också skedde i scenario 5 när samtliga produkter tilläts samtidigt som hänsyn togs till efterfrågan och transportkostnad. I både scenario 4 och scenario 5 ökade andelen sortiment H, dock var volymerna små. Andelen sortiment G var oförändrad oberoende av scenario (Figur 5).

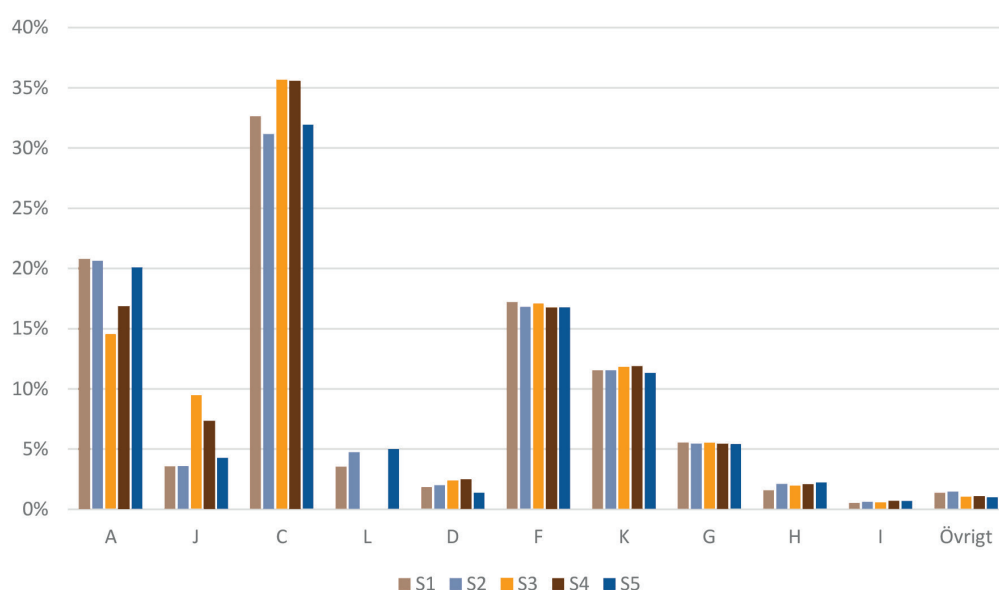


Figur 5. Volymandel (%) per sortiment (A-I), för respektive scenario (S1 - S5), företag A

Företag B

För företag B blev sortimentsvandringarna tydligare än för företag A. Mellan scenario 1 och 2 var skillnaderna relativt små, dock ökade andelen av sortiment L i scenario 2 medan andelen sortiment C minskade när transportkostnaden togs i beaktande vid optimeringen. I scenario 3, när alla produkter tilläts och det inte fanns några krav på transportkostnad, minskade andelen sortiment A från 21 procent i scenario 1 till 14,5 procent i scenario 3, samtidigt som andelen sortiment J ökade. I scenario 4, när alla produkter tilläts och hänsyn togs till transportkostnad, blev effekterna liknande. I både scenario 3 och scenario 4 ökade andelen sortiment C och det var inte längre lönsamt att producera sortiment L. Skillnaderna var små för sortimenten F, K och G.

Utfallet från scenario 5, när alla produkter tilläts men hänsyn togs till både transportkostnad och efterfrågan, blev den totala sortimentsfördelningen lik scenario 2 (Figur 6).



Figur 6. Volymsandel (%) per sortiment (A-I) för respektive scenario (S1 – S5), företag B.

FÖRÄNDRING I NETTO OCH MEDELTRANSPORTAVSTÅND PER PRODUKT

Företag A

Trots att andelen volym per sortiment totalt sett var relativt oförändrad, skedde förändringar gällande vilka bestånd som producerade särskilda produkter, och därmed förändrades destineringsen av virket från bestånden, vilket framgår av tabell 3 och 4 som beskriver hur medeltransportavstånd och netto per sortiment förändras i de olika scenarierna.

För företag A skedde de största förändringarna inom sortimenten B, D och E samt för F, H och I. Eftersom det bara fanns en mottagare för sortiment A och I, skedde inga förändringar inom de sortimenten. Nettot (kr/m³fub) ökade med minskade medeltransportavstånd (km) för samtliga sortiment förutom sortiment C (Tabell 3).

Transportkostnadernas inverkan på nettot blev särskilt tydlig för de sortiment med samma prismatris per mottagare där det fanns fler än en mottagare att välja mellan, dvs. sortiment F samt H och I.

I S4, när modellen fick välja mellan samtliga produkter med hänsyn till transportkostnad, blev det tydligt att antalet mottagare för sortiment F, H och I, vilket också blev extra tydligt vid en visuell analys av flödeskartorna. I S4 ökade nettot för sortiment F med 7 procent och när krav på efterfrågan lades till (S5) var ökningen två procent. Förbrukaren av sortiment F i utkanten av fångstområdet fick inga leveranser i S4, eftersom det inte fanns något leveranskrav och transportkostnaden fick styra. Även i scenario 2, när modellen var styrd till de ursprungliga produkterna noterades en minskning av volymer och flöden till samma mottagare av sortiment F i utkanten av fångstområdet.

Det blev samma effekt för sortimenten H och I, dvs. när modellen fick välja fritt, försvann två av mottagarna i sydvästra hörnet av fångstområdet. De största procentuella ökningarna i netto (kr/m³fub) var för sortiment H och I, 11 procent för H respektive 9 procent för I i S4 och S5, vilket dock förklaras av det rörde sig om små volymer och därmed blev den procentuella skillnaden stor.

Tabell 3. Förändring (%) i medeltransportavstånd och netto per sortiment och scenario (S2 – S5) jämfört med S1 för företag A.

	Scenario				
Sortiment A	S1 (ref.)	S2	S3	S4	S5
Förändring medeltransportavstånd, %	110 km	0 %	0 %	0 %	0 %
Förändring netto, %	X kr	+1 %	0 %	+1 %	+1 %
Sortiment B					
Förändring medeltransportavstånd, %	76 km	-2 %	-2 %	-13 %	-33 %
Förändring netto, %	X kr	0 %	0 %	+2 %	+4 %
Sortiment C					
Förändring medeltransportavstånd, %	76 km	0 %	+9 %	+6 %	-1 %
Förändring netto, %	X kr	0 %	+4 %	+4 %	+1 %
Sortiment D					
Förändring medeltransportavstånd, %	77 km	0 %	+1 %	-1 %	-4 %
Förändring netto, %	X kr	0 %	0 %	0 %	0 %
Sortiment E					
Förändring medeltransportavstånd, %	84 km	0 %	+12 %	+8 %	+5 %
Förändring netto, %	X kr	0 %	-2 %	-1 %	-1 %
Sortiment F					
Förändring medeltransportavstånd, %	95 km	-27 %	+31 %	-36 %	-10 %
Förändring netto, %	X kr	+5 %	-6 %	+7 %	+2 %
Sortiment G					
Förändring medeltransportavstånd, %	79 km	0 %	0 %	0 %	0 %
Förändring netto, %	X kr	0 %	0 %	0 %	0 %
Sortiment H					
Förändring medeltransportavstånd, %	72 km	-3 %	-1 %	-43 %	-43 %
Förändring netto, %	X kr	+1	0 %	+11 %	+11 %
Sortiment I					
Förändring medeltransportavstånd, %	68 km	-1 %	+7 %	-39 %	-39 %
Förändring netto, %	X kr	0 %	-2 %	+9 %	+9 %

Företag B

För företag B genererade S3 det högsta nettot för både sortiment A och C, trots att medeltransportavstånden ökade med 17 km för A mellan S1 och S3, respektive 5 km för C mellan S1 och S3. Nettot för sortiment C ökade med 18 procent i både scenario 3 och 4 jämfört med scenario 1 (Tabell 4). Flödet av sortiment C koncentrerades till framförallt en mottagare som låg centralt belägen inom fångstområdet, vid hänsyn till transportavstånd (S4). Dock var det fortfarande lönsamt att destinera en trakt till mottagarens längst i norr samt ett par trakter till mottagaren i sydvästra hörnet.

När ett krav på efterfrågan lades till (S5), blev potentialen för nettoökningen för sortiment C lägre, men ökade fortfarande med 5 procent jämfört med S1. Flödet i S5 liknade flödet i S1, dock visade den visuella analysen att modellen omdestinerade bestånd för att fylla efterfrågekravet.

För sortiment J, L och D var nettot högst i scenario 2, dvs. när modellen var styrd att producera den ursprungliga uppsättningen produkter för varje trakt med hänsyn till transportkostnad. När modellen däremot fick större frihetsgrader att välja mellan produkter, var dessa sortiment inte längre lika lönsamma. Därför producerades ingen volym av sortiment L i scenario 3 och 4. Vid krav på efterfrågan (S5) sjönk nettot för sortiment J och D med tre procent jämfört med S1.

Sortiment F var lönsammast i scenario 4, där nettot ökade med 14 procent. Transportavståndet minskade väsentligt i alla scenarion förutom scenario 3, där transportkostnaden inte beaktades. Även med krav på efterfrågan (S5) ökade nettot med 13 procent för sortiment F. När endast den ursprungliga uppsättningen av produkter tilläts produceras med hänsyn till transportavstånd (S2) ökade nettot för sortiment F med 12 procent till följd av kortare transportavstånd.

Sortiment K var mest lönsam i scenario 5, där nettot ökade med fyra procent jämfört med S1. Sortiment G var mest lönsam i S4, där nettot ökade med åtta procent jämfört med S1. I S3 minskade nettot jämfört med S1, eftersom transportavståndet ökade.

Nettot för sortiment H ökade med 6 procent i både S4 och S5 jämfört med S1, medan nettot för sortiment I ökade med en procent i S4 och S5, i båda fallen var ökningen av nettot helt förenligt med minskningen i transportavstånd.

Tabell 4. Förändring (%) i medeltransportavstånd och netto per sortiment och scenario (S2 – S5) jämfört med S1 för företag B.

	Scenario				
Sortiment A	S1 (ref.)	S2	S3	S4	S5
Förändring medeltransportavstånd, %	75 km	-7 %	+24 %	-8 %	-13 %
Förändring netto, %	X kr	+1 %	+14 %	+9 %	+4 %
Sortiment J					
Förändring medeltransportavstånd, %	56 km	-5 %	+4 %	+26 %	+24 %
Förändring netto, %	X kr	+6 %	+3 %	-4 %	-3 %
Sortiment C					
Förändring medeltransportavstånd, %	75 km	-5 %	+6 %	+2 %	-12 %
Förändring netto, %	X kr	+6 %	+18 %	+18 %	+5 %
Sortiment L					
Förändring medeltransportavstånd, %	56 km	-5 %	-100 %	-100 %	+4 %
Förändring netto, %	X kr	+6 %	-100 %	-100 %	+3 %
Sortiment D					
Förändring medeltransportavstånd, %	58 km	-1 %	+36 %	+22 %	+7 %
Förändring netto, %	X kr	0 %	-8 %	-6 %	-3 %
Sortiment F					
Förändring medeltransportavstånd, %	85 km	-20 %	+17 %	-25 %	-23 %
Förändring netto, %	X kr	+12 %	-9 %	+14 %	+13 %
Sortiment K					
Förändring medeltransportavstånd, %	63 km	-10 %	+31 %	-12 %	-12 %
Förändring netto, %	X kr	+3 %	-9 %	+14 %	+13 %
Sortiment G					
Förändring medeltransportavstånd, %	87 km	-8 %	+10 %	-16 %	-14 %
Förändring netto, %	X kr	+4 %	-5 %	+8 %	+7 %
Sortiment H					
Förändring medeltransportavstånd, %	62 km	-4 %	+69 %	-6 %	-6 %
Förändring netto, %	X kr	+4 %	-68 %	+6 %	+6 %
Sortiment I					
Förändring medeltransportavstånd, %	55 km	-4 %	+99 %	-1 %	-1 %
Förändring netto, %	X kr	+3 %	-78 %	+1 %	+1 %

Diskussion

Resultaten visar att potentialen för nettoökning (kr) i scenario 2, när modellen var styrd till att producera de ursprungliga produkterna i respektive bestånd men ta hänsyn till transportkostnad, totalt sett var en procent för båda företagen. Vid stora virkesflöden motsvarar en procent stora värden och potentialer. När modellen däremot tilläts att producera samtliga produkter ökade potentialen betydligt för båda företagen. Resultaten från scenario 3 och 4 bör tolkas med viss försiktighet, eftersom vilka slutsatser som kan dras är kopplade till vilken fråga som ställs. Alla skogsföretag har åtaganden gentemot kunder, och behöver därmed följa leveransplaner till de industrier de har avtal med, oavsett om det handlar om interna eller externa leveranser. Detta innebär att utfallen från scenario 3 och 4 riskerar att hamna långt från verkligheten, eftersom modellen kan välja att producera väldigt små (eller inga alls) volymer av de minst lönsamma produkterna, och samtidigt producera större volymer än vad det finns avsättning för av de mest lönsamma alternativen. Däremot skulle utfallen från scenario 3 och 4 kunna användas som underlag för ett företags planering av affärsuppgörelser, eftersom de skulle kunna ge en indikation om vilka produkter (och därmed kunder) är mest lönsamma för dem och även vilka produkter de eventuellt inte bör producera.

Samtidigt finns det förbättringspotential i hantering av värdet av olika produkter. Eftersom de priser som använts vid optimeringen kom från styrprismatriserna i skördarna, avspeglar de inte marknadsvärdet. Flera av de större skogsföretagen har de största marginalerna och inkomsterna från massaproduktion, och därmed är massaveden väldigt värdefull i många sammanhang (vilket inte avspeglas i prismatriserna i relation till timmerpriserna). I perioder har tillgången på massaved inte motsvarat industriernas kapacitet, vilket lett till att företag blivit tvungna att köra timmer till massabruken. Värdet av att se till att en industri inte drabbas av stillestånd under perioder med låg tillgång på massaved är svårt att hantera i en modell, men i praktiken har det stor påverkan på mottagande industris betalningsvilja. Skogsföretag med både egen skog och egen industri har i regel bättre möjligheter att hantera sådana situationer eftersom de kan välja en för stunden kostsam lösning för att hantera en situation. Genom att ersätta markägare enligt stampriomodellen (Möller m.fl., 2007) kan även köpande organisationer klara denna typ av situation, vilket i dessa fall i praktiken skulle innebära att massaveden skulle ha samma pris som timmer. Om man vänder på det skulle det kunna innebära att organisationer som primärt säljer egen skog skulle kunna ha ett bra förhandlingstillfälle. Samma resonemang skulle kunna kopplas till bränslemarknaden som fluktuerat under de senaste åren. Under perioder med upp- och nedgångar i efterfrågan för olika produkter skulle modellen kunna användas som underlag till att hantera råvaruförsörjningen under olika marknadsförutsättningar.

Relationen mellan timmerpriserna och massavedspriserna var något missvisande i denna studie, vilket också är en av förklaringarna till att det fanns större potentialer för företag B än företag A. Företag B hade lägre skillnader i priserna mellan olika sortiment och produkter, vilket skapade bättre förutsättningar för att det skulle kunna ske en sortimentsvandring eller produktvandring när transportkostnad räknades med som en styrande variabel. I scenario 3 fanns en viss slumpeffekt angående vilken massaveds- och bränslevedsmottagare som skulle gälla, eftersom samma prismatriser tillämpades för alla mottagare av ett visst trädslag. En tidigare studie utförd av Iwarsson Wide och Fogdestam (2011) visade att bränslevedspriset i relation till massavedspriset bör ligga kring minst 80 procent innan det blir lönsamt att ta ut bränsleved istället för barrmassaved i bestånd

med medelstam kring 0,05 m³fub/ha och en potentiell extravolym kring 12 procent vid energivedsuttag. I denna studie var prisrelationen lägre, vilket innebär att det skulle krävas långa transportavstånd för massaveden (alternativt väldigt korta transportavstånd för bränsleveden) innan en sortimentsvandring skulle kunna ske.

I båda fallen fanns en problematik kring att hantera timmer av kvalitetsklass 1. Modellen kunde bara hantera information om huruvida en stock av timmerkvalitet var en rotstock eller övrig stock, medan det är flera kvalitetsparametrar (manuellt bedömda) som avgör om en stock blir klass 1 eller övrig. För denna studie innebär detta att samtliga rotstockar inom givna dimensioner av tall skulle kunna bli klass 1, vilket drar upp värdet på dessa stockar och därmed kommer modellen att producera fler klass 1-stockar än vad som hade producerats i verkligheten. Detta innebär att nettot för talltimmer kunde öka kraftigt trots att medeltransportavståndet ökade desto mer.

En annan orsak till att det fanns större potentialer för företag B var att dataunderlaget var större – det fanns fler mottagande industrier och därmed flera olika kombinationer av sortiment och mottagningsplats (produkter). Om hela verksamhetsområden för båda företagen inkluderats i optimeringen hade utfallen sannolikt blivit annorlunda. För att verkligen påvisa potentialer hade även de externa leveranserna blivit nödvändiga för ett företag med egen industri, eftersom det är helheten av leveranserna som avspeglar behovet per industri. I mellersta och södra Sverige finns fler sortiment och fler mottagningsplatser än i norra Sverige, vilket generellt ökar möjligheterna att hitta alternativa lösningar för råvaruförsörjning.

Genom att lägga till ett krav på efterfrågan i scenario 5, var det möjligt att kringgå problematiken rörande över- eller underproduktion av vissa produkter i scenario 3 och 4. Det mest optimala hade varit att utgå från leveransplanerna till respektive industri och låta dessa volymer styra kravet på efterfrågan. Risker med det är dock att algoritmen inte klarar av att lösa problemet, eftersom det allt som oftast händer saker i realtid som påverkar hur utfallet (och därmed indata i form av skördardata) blir. Med utgångspunkt från skördardata från de faktiskt avverkade trakterna hade det funnits en överhängande risk att de faktiskt producerade volymerna inte stämde tillräckligt bra med leveransplanerna, och därmed hade de produkter som krävts för att uppfylla volymkravet per mottagningsplats inte funnits i dataunderlaget. Metoden som istället användes riskerar att inte återspegla industribehovet fullt ut, men uppfyller ändå syftet med efterfrågekravet, nämligen att visa att det finns potentialer kopplade till att integrera produktions- och transportkostnaderna vid flödesoptimering.

Utfallet från scenario 5 visar att det med en integrerad modell finns potentialer att öka resurseffektiviteten genom försörjningskedjan, vilket blev tydligt genom de minskade totala medeltransportavstånden i scenario 5 jämfört med scenario 1 för båda företagen. Medeltransportavståndets minskning med fyra procent för företag A respektive 14 procent för företag B innebär en betydande minskning av CO₂-utsläpp vid transport eftersom det finns en direkt korrelation mellan medeltransportavstånd och bränsleförbrukning (Löfroth & Brunberg, 2014). En del av minskningen förklaras av att ett par mottagare per företag inte fick några volymer, till följd av att minimikravet var satt till 0 m³fub för de mottagningsplatser med små volymer (vilket i synnerhet påverkade bränsleveden). Trots att det finns förbättringspotentialer kring utformning av scenario 5, torde detta vara det mest tillämpbara scenariot i fallstudien. Någon form av volymkrav per mottagande industri är en nödvändighet för att modellen skall kunna användas i försörjningsplaneringssyfte.

Trots att det var små totala skillnader när det kom till sortimentsvandringar, blev effekterna per trakt och mottagningsplats desto större. I praktiken skulle detta innebära att modellen skulle kunna användas som underlag för ruttplanering av avverkningsresurser, dvs. produktionsledarens (ett motsvarande) arbete kring planering av vilka trakter som bör avverkas till en viss industri. Ett intressant utvecklingssteg i modellen vore att inkludera lagernivåer vid industri, skog och bilväg för att dels få de olika scenarierna mer verklighetstrogna, och för att ha möjligheten att försöka styra mot att upprätthålla givna lagernivåer vid industri och bilväg. För detta krävs dessutom att tidsaspekter tas i beaktning, då ledtider påverkas av lagernivåer och i sin tur även påverkar lagernivåer. Ledtider påverkar dessutom färskheten i virket, och därmed utbytet. Ett högre utbyte innebär effektivare försörjningskedjor, eftersom det exempelvis krävs lägre volymer för att tillgodose ett massabruks produktion.

I scenario 3 producerades fler produkter per trakt än i övriga scenarier. I praktiken skulle detta innebära en ökad kostnad för drivning eftersom det kräver mer sortering och extra hantering av produkter. Inom denna studie användes inte någon funktion för produktionskostnad för de olika alternativen, men ett sådant tillägg hade eventuellt påverkat resultaten något. I ett nästa steg bör en produktionskostnadsfunktion inkluderas, samt ett sätt att hantera samlastning av olika produkter vid transport. Modellen har heller inte tagit hänsyn till returtransporter och utgår från att transporterna sker från avlägg till industri, vilket innebär att andra transportslag än lastbil inte räknats in. Detta är ytterligare ett utvecklingssteg som vore intressant för att hitta de mest transport-effektiva lösningarna.

För att använda modellen i en framåtsyftande optimering för planering av affärsuppgörelser och leveranser bör imputering tillämpas, eftersom metoden som använts i detta arbete utgår från historiska skördardata. Imputering möjliggör utbytesprognoser på stående skog. Med hjälp av skogliga parametrar som beskriver den stående skogen (så som HGV, DGV, grundyta och trädslagsblandning) som ingående variabler, kan metoden utifrån historiska skördardata från liknande bestånd ge utfall på volym, timmerandel med mera. Denna metod kan även användas för att göra apteringssimuleringar (Möller m.fl., 2017). Att använda imputering vore även ett sätt att komma ifrån modellens tendens att bli styrd av vad som redan producerats. Dock skulle denna metod ställa höga krav på indata, eftersom felaktiga beskrivningar av skogsbestånd skulle påverka utfallet vid apteringssimuleringen. I denna studie var det inte aktuellt att tillämpa imputering eftersom syftet var att utveckla och validera modellen genom att jämföra med verkligt utfall. De relativa jämförelserna mellan scenarion hade däremot fungerat bra även med imputering.

SLUTSATS

Projektet har visat att

- Det finns potentialer att öka resurseffektiviteten inom de skogliga försörjningskedjorna genom en integrerad modell för produktions- och flödesoptimering.
- Prisförhållandena mellan produkterna har stor betydelse för utfallet, därför skulle potentialen kunna öka om prismatriserna i skördarna avspeglade marknadsvärdet, dvs. pris vid industri.
- Trots att det blev relativt små sortimentsvandringar totalt sett, skedde omdestinering av trakter, vilket ledde till de totala minskningarna i medeltransportavstånd.
- Det minskade medeltransportavståndet har stor betydelse för klimatprestanda eftersom det finns en direkt koppling mellan medeltransportavstånd och bränsleförbrukning.
- Modellen kan användas vid försörjningplanering och som underlag vid affärsuppgörelser. Beroende på vilken fråga som ska besvaras, kan resultaten användas på olika sätt och därmed är det viktigt att förstå modellens begränsningar så att inte allt för vida slutsatser dras.

Referenser

- Arlinger, J., Nordström, M. & Möller, J.J. 2012. StanForD 2010. Modern kommunikation med skogsmaskiner. – StanForD 2010. – Modern communication with forest machines. Arbetsrapport 784. Skogforsk.16 s.
- Andrén, H., Arvonen, H., Badman, D., Dasoson, Y., Dotzauer, E., Furness, A., Hollander, M., Larsson, M., Läkeryd, P., Nilsson, S., Olsson, O., Olsson, T., Pettersson, A., Rogerstedt, L., Thor, M. & Wintzell, J. 2016. Främjande av biobaserade produkter och energi, smarta transport, en skogsindustri i världsklass och ökad export. Underlagsrapport från arbetsgrupp 3 inom nationellt skogsprogram. Regeringskansliet. Stockholm, Sverige. https://www.regeringen.se/contentassets/0b71b3ef7dbf49dab19bf7a15a8da07c/3_slutligbak.pdf [Hämtad 2018.10.18]
- Carlsson, D. & Rönnqvist, M. 2005. Supply chain management in forestry – case studies at Södra Cell AB. European Journal of Operational Research 163, 589-161.
- Constantino, S. & Eliasson, L. 2019. Kostnader och intäkter i det storskaliga skogsbruket 2018. Statistiska meddelanden JO 0307 SM1901. Skogsstyrelsen.
- Energimyndigheten. 2019. Produktion av sönderdelade oförädlade primära skogsbränslen av inhemskt ursprung med fördelning på sortiment, GWh, 2013-. http://pxexternal.energimyndigheten.se/pxweb/sv/Produktion,%20import%20och%20export%20av%20oförädlade%20trädbränslen/-/EN0122_3.px/table/tableViewLayout2/?rxid=429df9eb-7df7-4063-b51e-a807a5266223 [Hämtad 2019.06.17]
- Frisk, M., Göthe-Lundgren, M., Jörnsten, K. & Rönnqvist M. 2010. Cost allocation in collaborative forest transportation. European Journal of Operational Research 205, 448–458
- Holappa Jonsson, S. 2018. Evaluation of the increased pre-harvest forecasting precision of sawlog supply by use of historical harvester data and wood properties models : a case study on Scots pine in northern Sweden. Master thesis. SLU, Department of Forest Biomaterials and Technology, Umeå.
- Iwarsson Wide, M. & Fogdestam, N. 2011. Jämförande studie av olika uttagsmetoder av massaved och skogsbränsle i klen gallring. Arbetsrapport 740. Skogforsk, Uppsala.
- Kiljunen, N. 2002 Estimating dry mass of logging residues from final cuttings using a harvester data management system. International Journal of Forest Engineering. 13:1, 17-25.
- Löfroth, C. & Brunberg, T. 2014. Bränsleförbrukningen hos rundvirkesfordon 2008 och 2013. Arbetsrapport 820. Skogforsk, Uppsala.
- Möller, J. J., Arlinger, J., Wilhelmsson, L., Sondell, J. & Moberg, L. 2007. Modell för automatisk kvalitetsbestämning vid virkesmätning med skördare. Arbetsrapport 642. Skogforsk, Uppsala.

- Möller, J. J., Arlinger, J., Bhuiyan, N., Eriksson, I. & Söderberg, J. 2017. Utbytesprognoser baserade på skogs- och skördardata – Modell- och systembeskrivning för skapande av stambanker och imputerat utbyte. Arbetsrapport 961. Skogforsk, Uppsala.
- Von Essen, I. & Möller, J. J. 1997. Fördelningsaptering på mindre trakter. Arbetsrapport 371. Skogforsk, Uppsala.
- Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Spångberg, K., Lundqvist, S-O., Grahn, T., Hedenberg, Ö. & Olsson, L. 2002. Models for Predicting Wood Properties in Stems of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 17:4.