



Flexibilitet i virkestransporter på järnväg: möjligheter och kostnader

- Effekter av säsongsmönster och avvikelser från planerade tågflöden

Flexibility in railway transports of wood: possibilities and costs

- Effects of seasonal supply variation and deviations from planned railway transports

Ida Sjölling

Examensarbete • 30 hp

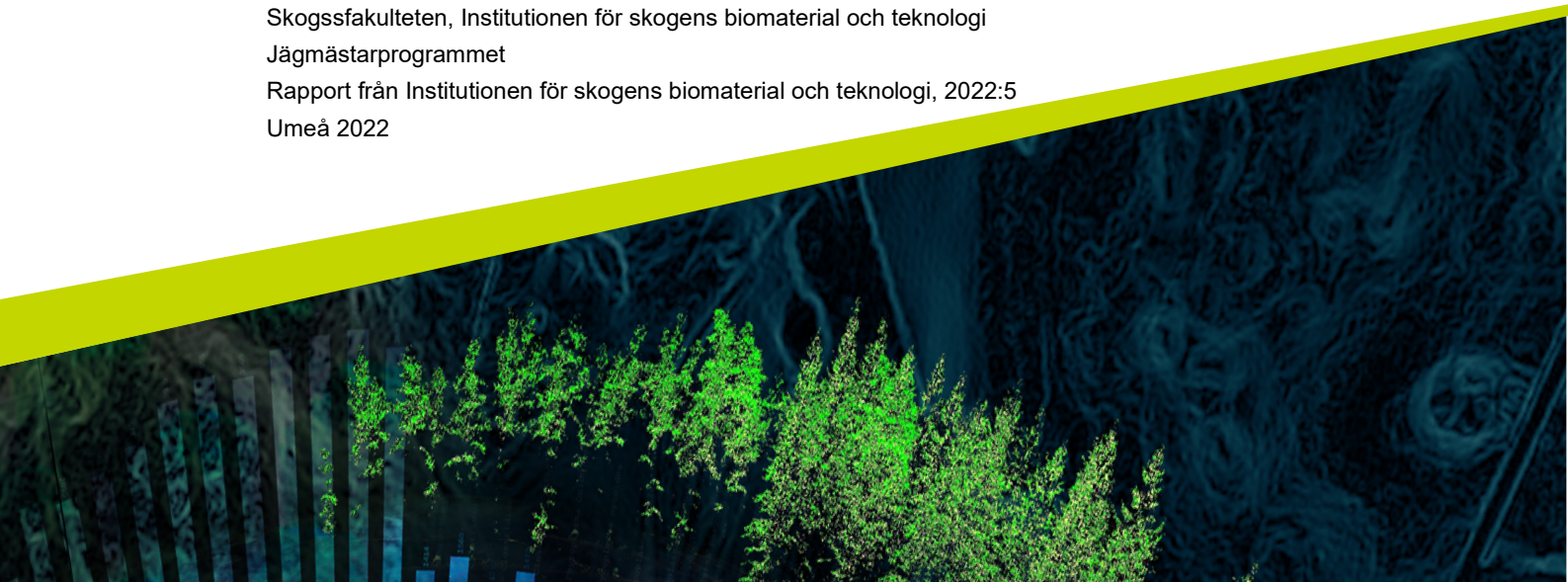
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Skogssfakulteten, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Jägmästarprogrammet

Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, 2022:5

Umeå 2022



Flexibilitet i virkestransporter på järnväg: möjligheter och kostnader – Effekter av säsongsmönster och avvikelser från planerade tågflöden

Flexibility in railway transports of wood: possibilities and costs

– Effects of seasonal supply variation and deviations from planned railway transports

Ida Sjölling

Handledare: Dag Fjeld, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Examinator: Dan Bergström, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Omfattning: 30 hp

Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, A2E

Kurstitel: Masterarbete i skogsvetenskap – Skogens biomaterial och teknologi

Kurskod: EX0956

Program/utbildning: Jägmästarprogrammet

Kursansvarig inst.: Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2022

Serietitel: Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Delnummer i serien: 2022:5

Nyckelord: virkesförsörjning, tåg, störningar, risk, multimodala transporter

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för Skogsvetenskap (S)
Institutionen för skogens biomaterial och teknologi (SBT)

Sammanfattning

Behov av flexibilitet i virkesförsörjningen uppstår eftersom det är en dynamisk verksamhet. Störningar i tillverkningsprocessen kan ge förändring i efterfrågan, störningar i transporter kan ge förändrade behov från olika transportslag och störningar i anskaffning av virke ger nya flöden. Olika säsonger ger olika förutsättningar för bil- respektive järnvägstransporter av virke. Multimodala transporter ger konkurrensfördelar såsom en stabil transportkapacitet och en ökad buffertkapacitet. Denna studie undersöker hur virkestransporter på järnväg kan planeras flexibelt mot säsongsmönster för inkörning av virke till terminaler och för att minimera avvikelser i tågflödena. Syftet med studien var att identifiera möjligheter till flexibilitet i virkestransporter på järnväg samt analysera hur kostnaderna påverkades av flexibilitet.

Data inhämtades genom en fallstudie av SCA:s virkestransporter till och från Tövasystemets terminaler. Scenarier testades i optimeringsprogrammet Woodflow och utformades med kvantitativa data från transporterna och kvalitativt data från intervjuer med SCA och järnvägsoperatören. Resultatet i studien visade att det fanns möjligheter till både kortsiktig och långsiktig flexibilitet i virkestransporter på järnväg. Den långsiktiga flexibiliteten innebär förmågan att anpassa järnvägstransporterna utifrån förutsägbara variationer och osäkerheter. Den kortsiktiga flexibiliteten innebär förmågan att ändra lastningsterminal eller mottagare vid förändringar. År 2019–2020 hanterade Tövasystemet en långsiktig flexibilitet på 43% och en kortsiktig flexibilitet upp till 8%. I scenarioanalyserna reducerades sannolikheten med 8,5% att ett inställt tåg var till följd av lokproblem till en minskning av transportkostnaderna med 0,5%. Större systemlösningar för virkestransporter medför en strukturell flexibilitet att kunna anpassa tågplaneringen till säsongsvariationer i olika geografier, möta varierade volymbehov från tåg och minska risker för inställda tåg.

Nyckelord: virkesförsörjning, tåg, störningar, risk, multimodala transporter

Abstract

The need for flexibility in wood supply is driven by the dynamic nature of the operating environment. Disturbances in markets or milling processes can lead to changes in demand while supply system disruptions can lead to changing needs for the different modes of transport. Disturbances in procurement could lead to new wood flows. Seasonal variation drives varying presumptions for road versus rail transport. In this context, multimodal transport systems provide competitive advantages such as stable transport capacity and an increased buffer capacity. This study examines how rail transport of roundwood can be planned more flexibly with respect to seasonal variation and rail system disruptions. The purpose of the study was to identify possibilities for flexibility in roundwood transport by rail and to analyze how costs were affected by an increased need for flexibility. In a case study of SCA rail transport, interviews with key functions were used to develop scenarios for testing in the WoodFlow optimization software.

The study demonstrated the degree of short-term and long-term flexibility available in a large multimodal wood supply system. Long-term flexibility refers to the ability to adapt rail transport based on predictable variations and uncertainties. Short-term flexibility refers to the ability to change the loading terminal or mill destination in case of changes. In 2019–2020, the SCA Tövasystem handled a long-term flexibility of 43% and a short-term flexibility of up to 8%. In the scenario analyzes, the probability for canceled rail deliveries (due to locomotive problems) was reduced by 8.5 % with no extra system costs (- 0.5%). Larger system solutions for rail transportation provide the structural flexibility necessary to meet both varying seasonal variations in different geographies, varying need for rail capacity and reduced risks for canceled rail deliveries.

Keywords: wood supply, disturbances, risk, multimodal transport

Förord

Detta examensarbete har genomförts vid Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet. Arbetet omfattar 30hp på avancerad nivå och ingår i min jägmästarexamen.

Inspirationen att skriva om virkestransporter på järnväg kom från Dag Fjeld vid en RÅG-kurs på SLU samt från mitt semestervikariat som transportledare hos SCA Skog. Jag vill tacka SCA Skog som värd företag och rikta ett särskilt tack till Martin Sundberg som varit min handledare från SCA:s sida och bidragit med värdefulla insikter. Tack även till er andra på SCA som på olika sätt bidragit till min studie. Jag vill också tacka intervjurespondenterna som gav värdefull information för studiens utformning.

Sist men inte minst vill jag tacka min handledare Dag Fjeld, SLU som med sitt stora engagemang och kunskap väglett mig i mål med mitt examensarbete.

Sundsvall, mars 2022

Ida Sjölling

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	10
Figurförteckning	11
Förkortningar	12
1. Inledning	13
1.1. Bakgrund	13
1.1.1. Begreppet flexibilitet	13
1.1.2. Virkesförsörjning	13
1.1.3. Multimodala transporter	14
1.1.4. Järnvägstransporter i Sverige	15
1.1.5. Säsongsvariationer i virkesförsörjning	16
1.1.6. Metoder för att hantera risk i försörjningssystem	17
1.1.7. Intervjumetoder	17
1.1.8. Utveckling av beslutsstödsystem	18
1.1.9. Aktuellt läge för järnvägstransporter av virke	18
1.2. Värdföretaget SCA	19
1.3. Tidigare studier	19
1.4. Problemformulering	21
1.4.1. Syfte och avgränsningar	21
2. Material och metod	22
2.1. Studieområde	23
2.2. Kvantifiering av säsongsmonster och tågavvikelser	24
2.3. Intervjuer	26
2.4. Scenarioanalys i Woodflow	27
2.4.1. Scenarier	27
2.4.2. Modellformulering	29
2.4.3. Bearbetning av data	32
2.4.4. Riskanalys	32
2.5. Validering	33
3. Resultat	34
3.1. Säsongsmonster för virkesflöden	34

3.2.	Avvikelser från planerade tågflöden	40
3.3.	Flexibilitet i virkestransporter på järnväg och åtgärder för att bemöta avvikelser i försörjningssystemet	43
3.4.	Analys av kostnader, lagernivåer och reducerad sannolikhet för avvikelser med anpassning av tågflöden	47
4.	Diskussion.....	51
4.1.	Begreppet flexibilitet vid järnvägstransporter av virke	51
4.2.	Hur flexibilitet kan användas vid tågplanering för att bemöta säsongsmönster och risker	52
4.3.	Säsongsmönster för virkesflöden och förekomst av avvikelser från planerade tågflöden	53
4.4.	Möjligheter och begränsningar till flexibilitet i järnvägstransporter.....	55
4.5.	Konsekvenser av att anpassa tågplaneringen till säsongsmönster och risker	56
4.6.	Val av metod och material	58
4.7.	Tillämpning och vidare studier.....	61
4.8.	Slutsatser	62
	Referenser.....	63
	Bilaga 1 – Viol 2, VIS	66
	Bilaga 2 – Viol 2, TIS	67
	Bilaga 3 - Intervjuguide.....	68
	Bilaga 4 – Funktioner i Woodflow.....	69

Tabellförteckning

Tabell 1. Sammanställning av studiens indelning, analyser och data	22
Tabell 2. Indelning av tågavvikelser i olika kategorier beroende på orsak.....	25
Tabell 3. Volymrestriktioner för barmassaflöden på tåg i scenario 2.....	29
Tabell 4. Omräkningstal från m ³ fub till ton	32
Tabell 5. Förekomst av tågavvikelser i Tövasystemet	41
Tabell 6. Sammanställd intervjudata: begreppet flexibilitet i virkestransporter på järnväg, möjligheter och begränsningar	45
Tabell 7. Sammanställd intervjudata: vanliga orsaker till tågavvikelser, åtgärder och kostnader för flexibilitet i järnvägstransporter av virke	46
Tabell 8. Sannolikhet att inställda tåg orsakad av lokproblem sker i P1	50
Tabell 9. Reducerad sannolikhet för inställda tåg orsakad av lokproblem	50
Tabell 10. Lagernivåer för virkesterminalerna per period i optimeringen.....	51

Figurförteckning

Figur 1. Processkarta över Trafikverkets tilldelningsprocess av bankapacitet	15
Figur 2. Schematisk karta över Tövasystemet	23
Figur 3. Säsongsmönster för virkesflödet i Tövasystemet.....	35
Figur 4. Variationskoefficienten för virkesflödet i Tövasystemet	36
Figur 5 Säsongsmönster för virkesflödet i Tövasystemets inlandsområde.....	37
Figur 6. Variationskoefficienten för virkesflödet i inlandsområdet.....	39
Figur 7. Säsongsmönster för virkesflödet i Tövasystemets mittområde.....	41
Figur 8. Variationskoefficienten för virkesflödet i mittområdet.....	42
Figur 9. Fördelning av tågavvikelser per kategori av orsak.....	42
Figur 10. Fördelning av inställda tåg per underkategori av orsak	43
Figur 11. Månadsfördelning av tågavvikelser per underkategori av orsak.....	49
Figur 12. Processkarta över arbetsgång vid ändringar av tågomlopp.....	49
Figur 13. Transportkostnader, transportarbete, transporterade ton och medeltransportavstånd från optimering	49

Förkortningar

JO	Järnvägsoperatör
CV	Variationskoefficient
M ³ fub	Kubikmeter fast under bark
T	Talltimmer
G	Grantimmer
LM	Lövmassaved
CM	Contortamassaved
BM	Barrmassaved
FFG	Frisk färsk gran

1. Inledning

Målen med virkesförsörjning är att till så låg kostnad som möjligt; leverera rätt virke, i rätt tid, med bra kvalitet och vara flexibel att möta förändringar (Andren & Fjeld 2004). Trender för skogsbranschen i Sverige går mot färre men större skogsindustrier (Fohlin & Silver 1997). Detta ger ökad efterfrågan hos mottagarna, vilket ger utökade upptagningsområden, längre transportavstånd och mer komplex logistik. Stora volymer som ska transporteras långa sträckor till samma mottagningsplats gör järnvägstransport till ett lämpligt transportslag (Etlinger et al. 2014). Ett ökat nyttjande av järnväg för godstransporter är högst aktuellt idag med anledning av den pågående klimatomställningen, både för skogsbranschen och samhället i stort.

1.1. Bakgrund

1.1.1. Begreppet flexibilitet

Begreppet flexibilitet är i denna studie i kontext av försörjningskedjor. Flexibilitet kan definieras som: ”Förmågan att snabbt och effektivt anpassa sin verksamhet till ändrade förhållanden” (Mattsson 2012:139). Det är viktigt att flexibiliteten kan utföras kostnadseffektivt utan att äventyra konkurrensförmågan. En hög flexibilitet är en konkurrensfördel och en låg flexibilitet orsakar ofta högre kapitalbindning i lager (ibid). Enligt Mattsson (2012) finns fyra olika huvudtyper av flexibilitet i företag, varav de tre mest relevanta för försörjningskedjor är: produktmixflexibilitet, volymflexibilitet och leveransflexibilitet. Leveransflexibilitet är den mest kundanpassade och innebär förmågan att anpassa levererad kvantitet, innehåll och leveranstid. Det finns ingen generell metod för att skatta flexibilitet med kvantitativa nyckeltal.

1.1.2. Virkesförsörjning

Planering av virkesförsörjning sker på strategisk, taktisk och operativ nivå. På den strategiska nivån sker marknadsanalyser och yttre ramar för verksamheten utformas. Då analyseras tillgänglig råvara internt och externt, geografiskt

verksamhetsområde, transportslag, transportkapacitet, terminalstruktur och kommande investeringsbehov (Carlsson & Rönnqvist 2005).

På den taktiska nivån skapas prognoser för tillgång och efterfrågan (Carlsson & Rönnqvist 2005). Prognoser för virkesflöden utförs ofta för en 1–5 års period framåt. Därefter uppdateras skarpare prognoser och balanser mellan tillgång och efterfrågan på kortare tidshorisont bildas från ett kvartal upp till ett år. Balansering av volymer sker med egna tillgängliga volymer, byten och affärer (Fjeld & Dahlin 2017). Transportplanering sker också i och med flödesplaneringen. I transportplaneringen planeras ofta järnvägstransporter med längre tidshorisont än för lastbil (D'amours et al. 2008; Forsberg et al. 2005). Järnvägstransporter ger behov av volymer till terminaler inför avgång och blir ytterligare en mottagare för lastbilstransporter (Forsberg et al. 2005). Det är vanligt att företag använder beslutsstödsystem vid planeringen eftersom virkesflöden är komplexa med hänsyn till tillgång, geografi, säsonger, flera sortiment, flera mottagare, virkesbyten, virkesaffärer och olika transportslag (Carlsson & Rönnqvist 2005). På den operativa nivån sker sedan parering av avvikelser och styrning av transporterna för att uppnå gemensamt mål.

Utifrån den strategiska planeringens ramar finns olika möjligheter att planera om på taktisk och operativ nivå och således nyttja den strukturella flexibiliteten. Strukturell flexibilitet skapas av att det finns flera tillgångskällor, flera mottagande industrier och transportslag med olika förutsättningar.

Behov av flexibilitet i virkesförsörjningen uppstår eftersom det är en dynamisk verksamhet. Störningar i tillverkningsprocessen kan ge förändring i efterfrågan, störningar i transporter kan ge förändrade behov från olika transportslag och störningar eller ändringar i anskaffning ger nya flöden. Ökad flexibilitet att hantera störningar i virkesförsörjningen kan skapas av till exempel buffert i virkeslager, alternativa mottagningsplatser och multimodala transporter (Kogler & Rauch 2018). Virkeslagring är en avvägning mellan kostnader och risk. Exempel på kostnader i samband med virkeslager är kapitalbindning, hanteringskostnader, direkta kostnader för lageryta och indirekta kostnader för kvalitetsförlust vid långa lagringsperioder (Fjeld & Dahlin 2017). Alternativa mottagningsplatser innebär att transportflottan blir mindre påverkad vid störningar hos en enskild industri. Multimodala transporter betyder att olika transportslag kombineras som exempelvis bil och järnvägstransporter.

1.1.3. Multimodala transporter

Multimodala transporter minskar risker för avbrott i virkesförsörjningen och bidrar även till miljövänligare transporter (Kogler & Rauch 2018). Vid störningar i virkesförsörjningen är transportsystemets robusthet av stor betydelse. Robusthet definieras som motståndskraftighet till störningar (ibid.). Multimodala transporter

ger ökad robusthet i transportsystemet eftersom flera transportslag kombineras och ofta med en mellanlagring som reserv vid terminal (ibid.).

Virke som transporteras på järnväg behöver först transporteras på bil till tågterminalen där virket avlastas till terminalen eller direkt på tågvagnar för vidare transport. Vissa mottagare har järnvägsspår in på industriområdet medan andra kräver en omlastning till bil för intransport fram till slutdestinationen. Att jämföra kostnader för virkestransport på bil och järnväg är svårt dels för att de fasta kostnaderna skiljer sig mycket åt, dels för att järnvägstransport av virke också kräver biltransport (Fjeld & Dahlin 2017). De rörliga kostnaderna för järnvägstransporter är lägre än för biltransporter, men de fasta kostnaderna är betydligt högre (Lumsden 1998; Bark 2005). Järnvägstransporter är generellt billigare vid längre transportavstånd. Ett ökat nyttjande leder till lägre kostnad per levererad enhet till följd av att de fasta kostnaderna fördelas ut på en större volym (Hilmola 2008). Vid optimering för minimering av transportkostnader är det viktigt att analysera de totala transportkostnaderna, då eventuella besparingar utgörs av lägre transportkostnader på bil men inte lägre kostnader för järnvägstransporterna (Forsberg et al. 2005).

1.1.4. Järnvägstransporter i Sverige

Trafikverket är den myndighet i Sverige som förvaltar järnvägsnätet, behandlar ansökningar och tilldelar järnvägsoperatörer (JO) tidtabeller för nyttjandet av järnvägen (Trafikverket 2021a). Ansökningar om tidtabeller måste göras i god tid för att Trafikverket ska ha möjlighet att planera ihop och fördela flera olika aktörers användande av järnvägen. I Figur 1 ges en översiktlig bild hur Trafikverkets tilldelningsprocess av bankapacitet går till. Ansökningarna kommer in till Trafikverket i april och i juli publiceras ett förslag på tågplan för nästkommande år. Därefter kommer en samordningsperiod med tvistlösningar om tåglägen, och övriga synpunkter kan lämnas in till Trafikverket. Förslaget revideras och en primär tågplan publiceras i september därefter kan kompletterande ansökningar skickas in. Senare kan även s.k. ad hoc ansökningar tillämpas för ytterligare tåglägen i den fastställda tågplanen. I november publiceras den slutgiltiga fastställda tågplanen och i december sker trafikstart då den nya tågplanen börjar gälla (Trafikverket 2021a).



Figur 1. Förenklad processkarta och tidsplan över Trafikverkets tilldelningsprocess av bankapacitet (baserad på Trafikverket (2021a) fig 4.1).

Figure 1. Simplified process map of the Swedish Transport Administration's allocation process of rail capacity (based on Trafikverket (2021a) fig 4.1).

JO behöver veta hur mycket volym, när och vilka sträckor som efterfrågas av kunden innan april när tilldelningsprocessen börjar. Därför behöver kunderna ha en transportplanering för 1–2 år framåt. Planeringen för virkestransporter på järnväg och det operativa logistikarbetet är komplext eftersom det är av stor vikt att volymerna anskaffas i rätt geografier och finns inkört till terminalen vid rätt tidpunkt för de tilldelade tidtabellerna. Eftersom virkesförsörjningen är en dynamisk verksamhet så sker ändringar i de planerade flödena som ligger till grund för tidtabellansökningen. Till följd av detta finns ett behov av flexibilitet för ändringar i planering av järnvägstransporter.

Störningar i järnvägstransporter uppkommer såsom i alla transportslag vilket också skapar behov av flexibilitet. Det är allmänt vedertaget i skogsbranschen att tjällossning, höstregn, snöfall eller halka kan förhindra framkomligheten för virkestransporter på bil. På järnvägen sker det andra störningar som inte är lika allmänt vedertagna. Det kan exempelvis vara brist på virke på terminalen eller brist på resurser som lok, vagnar eller förare som orsakar inställda tåg. Även störningar som strömbrott, lövhalka och isbildning på lok påverkar järnvägstransporterna.

1.1.5. Säsongsvariationer i virkesförsörjning

Olika säsonger ger olika förutsättningar för bil- respektive järnvägstransporter av virke. Det kan också påverka vilka typer av störningar som är vanligare än andra. Den kalendariska indelningen i årstider, i studien benämnd säsonger, är 3 månader vardera för respektive årstid: vinter, vår, sommar och höst. Vintern infaller under månaderna december-februari, våren under mars-maj, sommaren under juni-augusti och hösten från september-november. Enligt den kalendariska indelningen inträffar säsongerna vid samma tidpunkt oavsett var i landet man befinner sig. Det finns också en meteorologisk definition av årstider som baseras på temperaturförhållanden, dessa sammanfaller inte alltid med den kalendariska indelningen (SMHI 2020). Den meteorologiska indelningen i årstider skiljer sig också åt beroende på var i Sverige man mäter temperaturen (Wallén 1970 se SMHI 2020). De kalendariska säsongerna kan därför innebära olika förutsättningar för virkesförsörjningen beroende på var i Sverige man är, från Norr till Syd och från kust till inland.

Säsongsvariationer ger olika förutsättningar för anskaffning och transport eftersom väderförhållanden ger olika förutsättningar för bärighet i skogsmark och på skogsbilvägar. I de nordiska länderna, som Sverige, är det vanligt att anskaffningen är lägre under sommarmånaderna då röjning, markberedning och föryngring måste ske under barmarkssäsongen. Vintertid då bärigheten i marken är högre så sker ett större volymsuttag (D'amours et al. 2008). Westlund et al. (2019) studerade säsongsvariationer i anskaffning och transport av virke i olika klimatzoner. Data från norra Sverige visade en högre anskaffning i början av året och sjunkande trend fram till juli när anskaffningen sedan ökade fram till november.

Kurvan för transporterade volymer följde samma mönster som anskaffningen, dock med lägre variation mellan månaderna (ibid.).

Oavsett säsong är transportbehovet till skogsindustrierna stort. I synnerhet vintermånaderna februari och mars för att öka lagren på industri och terminal inför vårens tjällossning. Typiska säsongsvariationer för lagernivåer i Sverige är ökade lager under vintern och minskade lager under vår och sommar (Fjeld & Dahlin 2017). Skogsbolag som är verksamma i stora geografier kan nyttja de olika geografiska förutsättningarna och anpassa tågflödena utifrån säsongsmönster och därmed parera störningar.

1.1.6. Metoder för att hantera risk i försörjningssystem

De olika störningar som sker innebär risker i virkesförsörjningen. För att hantera risker behöver de identifieras och bedömas. Bedömningen av en risk görs i två olika dimensioner, sannolikheten att den ska inträffa och vilken påverkan det har om det inträffar (Hillson & Hulett 2004). Det finns olika teorier och ramverk för att skatta och beräkna risk som använts i tidigare studier om risk i försörjningskedjor (Chopra & Sodhi 2004; Lundqvist & Peterson 2008; Korbaa et al. 2017). Ett exempel är att använda en sannolikhets-påverkan matris där risker placeras in i matrisen beroende på hur hög sannolikhet det är att risken inträffar och hur hög påverkan det medför (Lundqvist & Peterson 2008). En enklare modell för att beräkna och värdera olika risker är att multiplicera sannolikheten att risken inträffar med kostnaden som blir till följd av den. Det finns också mer avancerade modeller för att beräkna värdet på en risk. Ett exempel på det är en sannolikhetsfördelning som tar i hänsyn alla möjliga kombinationer av risk och dess sannolikhet och påverkan skatta värdet för risken (Korbaa et al. 2017).

1.1.7. Intervjumetoder

Vid kartläggning av processer och behov är olika typer av intervjuer användbara beroende på syfte med studien. Strukturerade intervjuer är en muntlig motsvarighet till en enkät där respondenterna tvingas in i ramar vid besvarande av frågorna, denna intervjumetod lämpar sig vid ett större antal respondenter där kvantitativt intervjudata behövs (Merriam 1994). Semistrukturerade intervjuer ger möjlighet att ställa följdfrågor och respondenten har möjlighet att svara fritt med egna ord inom ämnet, samtidigt som en viss information efterfrågas av respondenterna (Pattson 1980). Helt ostrukturerade intervjuer är lämpliga då forskaren inte innehar tillräcklig kunskap i området för att formulera intervjufrågor, och därmed används ofta ostrukturerade intervjuer för att få tillräcklig kunskap för att sedan kunna utforma mer strukturerade intervjuer (Merriam 1994). Vilken typ av information som ges i svaren från en intervju kan bero på samspelet mellan intervjuaren och

respondenten och kan skilja sig åt beroende på personkemi och kontext (Merriam 1994; Bjereld et al. 2009).

1.1.8. Utveckling av beslutsstödsystem

Trenderna i skogsbranschen resulterar i färre och större industrier samtidigt som lagernivåerna ska hållas så låga som möjliga, vilket ställer högre krav på logistiken (Bergdahl et al. 2003). Samtidigt utgör transportkostnaderna en tredjedel av kostnaderna för råvaruförsörjningen till skogsindustrin och att hålla nere dessa så mycket som möjligt är av hög prioritet (Bergdahl et al. 2003; Carlsson & Rönnqvist 2005; Frisk et al. 2010). Optimering på taktisk nivå har visat sig vara effektiv för att minska de höga logistikkostnaderna i virkesförsörjningen (Forsberg et al. 2005).

Vid planering av virkestransporter använder flera skogsföretag beslutsstödsystem för mer kostnadseffektiva lösningar. Flertalet tidigare studier har använt linjära beräkningsmodeller för optimering av virkesflöden (Andersson et al. 2008; Forsberg et al. 2005; Frisk et al. 2010; Widinghoff 2014). FlowOpt är ett beslutsstödsystem som använder linjär programmering och är utvecklad som stöd till strategiska och taktiska beslut vid planering av virkestransporter (Forsberg et al. 2005).

Woodflow är ett beslutsstödsystem som bygger på idéer från forskningsverktyget FlowOpt (Rönnqvist 2022, Pers. Komm.). Woodflow är utvecklat av Creative Optimization med syfte att göra beslutsstödsystem för planering av virkesflöden tillgängligt på en strategisk, taktisk och operativ nivå (ibid.) Det används bland annat av skogsföretagen: SCA, Stora Enso, Holmen, Sveaskog, Södra skogsägarna, Mellanskog, Sydved och Vida (CreativeOptimization 2022). Woodflow kan optimera virkesflöden på olika tidsperioder, ta fram önskade nyckeltal för transportarbeten, simulera och utföra scenarioanalyser, utvärdera olika transportslag, optimera multimodala transporter, finna styrkor och svagheter i transportsystemet samt analysera strategiska beslut så som placering av virkesterminaler eller utvärdera virkesbyten (CreativeOptimization 2022).

1.1.9. Aktuellt läge för järnvägstransporter av virke

Bränslepriserna i Sverige höjs som styrmedel för att minska utsläpp och styra mot grönare transporter. I en utredning av Andersson et al. (2020) kartlades behov och strategier för att öka andelen godstransporter på järnväg. För att göra järnvägstransporter till ett mer attraktivt och konkurrenskraftigt transportslag behövs högre tillförlitlighet genom högre leveranssäkerhet och ökad tillgänglig kapacitet. Exempel på åtgärder för att öka godstransporter är underhåll av banan och förbättrad flexibilitet i hantering av tågtabellsökningar. Det sistnämnda för att motverka att JO ansöker om fler tidtabeller än nödvändigt för att gardera sig

(Trafikverket 2021b; Andersson et al. 2020; Boholm u.å.; Knutsson & Bärthel 2021). Flexibilitet med kort framförhållning kan vara viktig för skogsbranschen där störningar kan ske som ökar eller förändrar var tillgängliga volymer uppstår och därmed ändrar behov av tågflöden. Att få järnvägstransporter mer kostnadseffektiva skulle göra överflyttning av virkestransporter än mer aktuellt på grund av den höga andelen transportkostnader som virkesförsörjningen har i nuläget (Andersson et al. 2020). Det är tidsenligt att öka andelen virkestransporter på järnväg och flera aktörer har investerat i stora resurser för järnvägstransporter av virke (Mattson 2008).

1.2. Värdföretaget SCA

SCA är ett integrerat skogsbolag i Sverige som har Europas största terminal- och järnvägssystem för rundvirkestransporter (SCA 2020). Företaget transporterar årligen ca 3 Mm³fub rundvirke på järnväg (Sundberg 2022, Pers. Komm.). SCA äger 2,6 miljoner hektar skogsmark i Sverige och äger flera pappers- och massaindustrier och sågverk. För att fylla hela virkesbehovet köper de även virke av andra privata markägare och aktörer på marknaden samt ingår i virkesbyten med andra aktörer för effektivare logistiklösningar. Flera olika sortiment hanteras och ska levereras till olika mottagare och SCA transporterar årligen 12 Mm³fub rundved (Sundberg 2022, Pers. Komm.). Det ger ett komplext flöde av virke och flera transportslag används: båt, tåg och bil. SCA använder optimerings- och analysverktyget Woodflow vid sin flödesplanering.

1.3. Tidigare studier

Planering på strategisk, taktisk och operativ nivå för en god virkesförsörjning har analyserats i flertal tidigare studier (Forsberg et al. 2005; Carlsson & Rönnqvist 2005). Tidigare studier belyser exempelvis vikten av integration i olika led (Luo et al. 2021), behov av beslutsstödsystem (Forsberg et al. 2005) och optimering av virkesdestinering för kostnadseffektivitet (Bergdahl et al. 2003).

För att medräkna kvalitetsaspekten på virket utfördes en studie där optimering av virkestransporter på taktisk nivå inkluderade färskheten på virke som en variabel (Beaudoin et al. 2007). Resultatet i studien visade en ökad vinst med 8,8 % vid optimala transporter och ökad färskhet på virket vid avlämning hos industri.

Gustavsson (2015) kom fram till att ökad användning av järnvägstransporter medförde ökad leveransprecision till följd av att hantering av industrihaverier och tjällossning var enklare. Samtidigt gav ökad andel järnvägstransporter ett jämnare flöde som också medförde jämnare färskhet på det levererade virket.

Forsberg et al. (2005) utvärderade optimeringsverktyget FlowOpt för flödesplanering på strategisk och taktisk nivå. Vid utvärderingen testades ett scenario där införande av tågpendel visade sig minska biltransporterna med 35% och därmed även en minskad energikonsumtion med 20%. Om det innebar några minskade kostnader svarade inte studien på då det berodde på hur stor ökning i fasta kostnader som införande av en tågpendel skulle innebära för totala kostnaderna.

Mattsson och Jenelius (2015) sammanställde aktuell forskning om transportsystems sårbarhet och resiliens. Resiliens i ett transportsystem definieras som dess förmåga att återhämta sig efter störningar (Ta et al. 2009). De påtalade att det var förvånansvärt lite forskning som gjorts på järnvägstransporters sårbarhet och att det bör forskas mer inom området. Vidare menade de att det var förvånansvärt eftersom järnväg är ett transportslag som ofta är mer känsligt för störningar än andra transportslag, då det finns väldigt begränsade möjligheter att omdirigera tåg på grund av rälsbundenhet (Mattsson & Jenelius 2015).

I en omfattande kartläggning på studier inom ämnet virkesförsörjning med multimodala transporter konstaterade Kogler och Rauch (2018) att det finns forskningsluckor på simulering och optimering av multimodala virkestransporter. Främst saknades studier med realistiska övervägande av- och hänsynstagande till risker i virkesförsörjningen. Många gånger förminskas riskerna i transporter och förklaras som enkla maskinhaverier med försenade leveranser som följd, men dess konsekvenser kan vara större än så (Kogler & Rauch 2018). Det finns också flera externa osäkerheter och variationer så som väder, naturkatastrofer och industrihaverier. Dessa risker har stor betydelse för virkesförsörjningen och bör hanteras proaktivt genom robust riskhantering (ibid.). Vidare påtalar författarna att både fler omfattande fallstudier behöver göras samt simulering med stokastiska risker. De menar också att användande av simulering och optimeringsverktyg bör implementeras i större omfattning ute i verksamheten.

Kogler och Rauch (2019) undersökte olika transportlösningar genom scenarioanalyser. De testade scenarier med ökade extremväder, i detta fall snöfall och stormar som följd av klimatförändringen. Forskarna drog slutsatsen att det kan vara till fördel med en kombination av unimodala och multimodala transporter. Kombinationen bidrog till ökad resiliens i hela försörjningskedjan. De påtalade också att det finns andra risker än extremväder i virkesförsörjningen som vidare studier kan undersöka. Som exempel nämner de industristopp, virkeskvalitet, vagnstillgänglighet och maskinhaverier. De menar att bättre strategier och transportplaner som passar verkligheten kan utformas från scenarioanalyser som identifierar flaskhalsar i systemet (ibid.).

Markolf et al. (2019) studerade transportsystems resiliens mot klimatförändringar utöver risker och robusthet. De definierar i sin studie begreppet flexibilitet som transportsystemets förmåga att reagera och anpassa sig till förutsägbara förändringar och osäkerheter. Medan begreppet smidighet definieras

som förmågan att anpassa sig till oväntade förändringar. De menar att analysera flexibilitet och smidighet i transportsystemet är ett bra komplement till robusthet (ibid).

1.4. Problemformulering

Även om kostnadseffektivitet alltid är en prioritet för transport av bulkvaror som rundvirke, styrs också virkesförsörjningen till stora delar av behovet av säkra och jämna flöden. De olika transportslagen har separata fördelar men multimodala transporter ger ytterligare konkurrensfördelar såsom en stabil transportkapacitet och en ökad buffertkapacitet. Dessa fördelar är särskilt viktiga vid slimmade lager i försörjningskedjor som får periodiska avbrott i råvarutillgång eller i efterfrågan, som för virkesförsörjning. Effektiva järnvägslösningar bör därför ge både högt kapacitetsutnyttjande vid de normala virkesflödena och flexibilitet vid behov. De variabla kostnaderna för ett järnvägssystem är ofta stabila. Det är de innovativa flödena, alternativa lastningsmöjligheter och schemaläggning som möjliggör det högre kapacitetsutnyttjandet som återspeglas i lägre fasta kostnader per levererad enhet. Här ligger utmaningen: att utveckla effektiva lösningar som också möjliggör flexibilitet och beredskap som är grunden för ett flexibelt försörjningssystem. Trots flera studier inom ämnet virkesförsörjning, planering av virkestransporter och ett identifierat behov av flexibilitet är det brist på publicerad kunskap om kostnadsutveckling och möjligheter till flexibelt nyttjande av järnvägstransporter.

1.4.1. Syfte och avgränsningar

Syftet med studien är att identifiera möjligheter till flexibilitet i virkestransporter på järnväg för att möta säsongsvariationer och tågavvikelser samt analysera hur detta påverkar kostnader genom:

- att kvantifiera säsongsmönster för SCA:s terminaler och kvantifiera störningar som påverkar järnvägstransporter
- att identifiera möjligheter och begränsningar till flexibilitet i dagens system
- att utföra scenarioanalyser i optimeringsverktyget Woodflow

Avgränsningar

Studien avgränsas till en fallstudie av SCA:s virkestransporter till och från Tövasystemets terminaler under perioden 2019–2020.

2. Material och metod

Studiens delades in i tre delar (Tabell 1) motsvarande syftets tre delar. I del 1 kvantifierades säsongsmönster för terminalsystemet och de tågavvikelser som skett under tidsperioden från kvantitativt volym- och avvikelседata. I del 2 sammanställdes intervjudata för att besvara vilka möjligheter och begränsningar som finns till flexibilitet i järnvägstransporter i dagens system. I del 3 utfördes scenarioanalyser genom optimering i Woodflow UX (Ver. 3.0.0).

Tabell 1. Sammanställning av studiens delar, de analyser som utförts och vilket data som använts
Table 1. Summary of the parts in this study, how analyzes were made and the data that was used

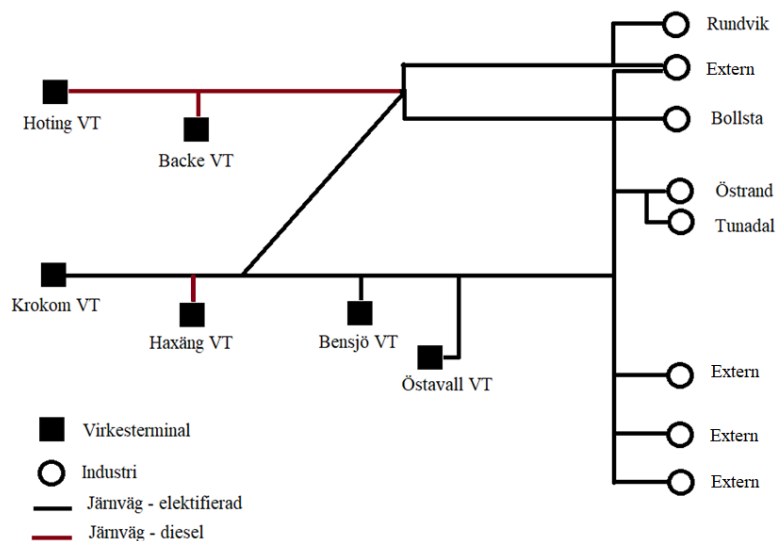
Del	Analys	Data
1) Kvantifiera säsongsmönster för terminalsystemet	Sammanställa volymdata med hjälp av Excel Pivottabeller och skapa tidsserie över totala månadsflöden i terminalsystemet, samt uppdelat på geografisk positionering av terminalerna: inlandsområde respektive mittområde.	Volymdata från 2019–2020. Viol 2 – VIS: Inkörd volym (m ³ fub), sortiment per månad till respektive terminal. Viol 2 – TIS: Utkörd volym (m ³ fub) med tåg per sortiment och månad från respektive terminal.
Kvantifiera störningar som ger tågavvikelser	Sammanställa andel tågavvikelser (ändrade och inställda tågomlopp) per orsak.	Uppföljningsdata på avvikelser från planerade tågomlopp 2019–2020.
2) Identifiera möjligheter och begränsningar i dagens system	Sammanställning av intervjudata och processkartläggning.	Semistrukturerade muntliga intervjuer med SCA och järnvägsoperatören.
3) Scenarioanalys: flexibilitet i järnvägstransporter av virke	Test av scenarier i optimeringsverktyget Woodflow där kostnader jämförs med ett bas-scenario. Riskanalys och beräkningar.	Scenarier utformas av resultat från del 1 och 2. Volymdata från transporter, lager och kostnader år 2020.

2.1. Studieområde

Studien avgränsades till transporter och avvikelser från planerade tåglopp inom en del av SCA:s terminalsystem 2019 och 2020. Terminalsystemet är det s.k. Tövasystemet, vilket är beläget i Västernorrland och Jämtlands län. Det innefattar fyra större virkesterminaler, Hoting VT, Krokom VT, Bensjö VT och Östavall VT samt två mindre terminaler, Backe VT och Haxäng VT (Figur 2). I Tövasystemet transporteras årligen ca 1,8 Mm³fub/år på järnväg (Sundberg pers. komm. 2022).

I studien delades virkesterminalerna in i två olika grupper baserad på dess geografiska läge och upptagningsområden. I studien kallad ”inlandsområdet” inkluderade Hoting VT och Krokom VT, och ”mittområdet” inkluderade terminalerna Backe VT, Haxäng VT, Bensjö VT och Östavall VT.

De sortiment som studien kvantifierade säsongsmönster för var talltimmer, T, contortamassa, CM, grantimmer, G, barrmassaved, BM, och lövmassaved, LM. För perioden som volymdata inhämtades från fanns ett ytterligare sortiment Frisk färsk gran, FFG, som studien inte kvantifierade säsongsmönster för. SCA:s industri som förbrukade FFG blev nedlagd 2020 och sortimentet apteras inte längre fram. Det som tidigare varit FFG inräknas nu som BM och därav räknas volymerna av FFG i studien som BM i analys av säsongsmönster. Vid scenarioanalyserna betraktas FFG och CM som BM.



Figur 2. Schematisk karta över järnvägssystemet i Tövasystemet med de virkesterminaler och mottagande industrier som ingår i studien.

Figure 2. Schematic map over the railway system in Tövasystemet and the wood terminals and receiving industries which are included in this study.

2.2. Kvantifiering av säsongsmönster och tågavvikelser

Säsongsmönster i denna studie innebär virkesflödet per sortiment till och från terminalerna. För kvantifiering av säsongsmönster i Tövasystemet användes bruttovolym ($m^3 fub$) per månad för SCA:s transporter med bil till terminalerna och med tåg från terminalerna. All volymdata inhämtades från Biometrias databas Viol (Virke Online). Data för inkörd volym inhämtades från Viol 2 genom utsökning i VIS enligt Bilaga 1. Data för utkörd volym på tåg inhämtades från Viol 2 genom utsökning i TIS enligt Bilaga 2.

Volymdata för inkörning och utkörning bearbetades i Microsoft Excel (2016) och sammanställdes i pivottabeller för att filtrera fram de terminaler och sortiment som studien omfattade. Tidsserier skapades för totalvolym för Tövasystemet och uppdelat per inlandsområdet och mittområdet. Variationskoefficienten (CV) beräknades per sortiment för inkörning och utkörning mellan månaderna. Ekvation 1 – 5 visar de beräkningar som användes för att skapa säsongsmönstret och beräkna CV.

Medelvolym för varje månad beräknades enskilt för tågtransporter och biltransporter inom Tövasystemet enligt ekvation 1.

$$\text{Månadsmedel, } \mu_m (m^3 fub) = \frac{v_{ms2019} + v_{ms2020}}{2}$$

v = transporterad volym ($m^3 fub$) (1)

m = månad (1–12)

s = sortiment (BM, CM, L, T, G)

Genomsnittlig månadsvolym baserad på totala årsvolymer beräknades enligt ekvation 2.

$$\text{Genomsnittligt månadsvolym, } \mu_T (m^3 fub) = \frac{\sum_{m=1}^{12} \mu_m}{12}$$

μ_m = Månadsmedel ($m^3 fub$)

m = månad (1–12) (2)

Den relativa transporttaktan för inkörningen och utkörningen av virke beräknades enligt ekvation 3 för att visa när under året inkörningen var över eller under genomsnittliga månadsvolymen.

$$\text{Relativ månadtakt, } rt_m (\%) = \frac{\mu_m}{\mu_T} \times 100$$

μ_m = Månadsmedel ($m^3 fub$) (3)

μ_T = Genomsnittlig månadsvolym ($m^3 fub$)

För att beräkna CV (Ekvation 5) beräknades först standardavvikelsen (Ekvation 4) för inkörning och utkörning mellan månaderna. Beräkningarna gjordes både för hela studieområdet och per inlandsområde och mittområde.

$$\text{Standardavvikelse, } \sigma (m^3\text{fub}) = \sqrt{\frac{\sum(\mu_m - \mu_T)^2}{12}}$$

μ_m = Månadsmedel ($m^3\text{fub}$)

μ_T = Genomsnittlig månadsvolym ($m^3\text{fub}$)

$$\text{Variationskoefficienten, CV (\%)} = \frac{\sigma}{\mu_T} \times 100$$

σ = Standardavvikelse ($m^3\text{fub}$)

μ_T = Genomsnittlig månadsvolym ($m^3\text{fub}$)

För kvantifiering av avvikelser som skett i de planerade tågflödena användes uppföljningsdata som tillhandhålls av SCA. Data bestod av manuella noterade avvikelser sammanställda i en Excel-fil med info om datum, lastningsterminal, mottagare, typ av avvikelse (inställd eller ändring), samt med en kommentar om anledning till avvikelsen. Avvikelsedata bearbetades i Microsoft Excel (2016) där tågavvikelserna delades in i 4 olika kategorier och inom dessa till flera underkategorier enligt Tabell 2, beroende på orsak till avvikelsen.

Tabell 2. Indelning av tågavvikelser (inställda och ändrade tåg) i olika kategorier och underkategorier beroende på orsak till tågavvikelsen

Table 2. Categories subcategories for sectioning different types of rail deviations (canceled and changed rail deliveries) depending on what caused the rail deviation

	Kategori			
	Tillgång	Transport	Efterfrågan	Övrigt
Underkategori	Virkesbrist	Lokproblem	Ökat behov	Följdfel
		Förarbrist	Industristopp (minskat behov)	Övrigt
		Vagnsbrist		
		Infrastruktur		

Som tågavvikelser inkluderades hela tågomlopp (från lastning på terminal till lossning hos mottagande industri) som blivit ändrade eller inställda. Tågomlopp som avvek i ankomsttid eller i antal vagnar medräknades ej som tågavvikelse i studien. En ändring innebar att ett tågomlopp hade gått men att det ändrades lastningsterminal eller mottagare senare än 2 veckor innan avgång (trafikstart).

Tågavvikelserna sammanställdes i en pivottabell för lättare hantering att skapa månadsfördelning av avvikelser per underkategori och för att beräkna förekomst av tågavvikelser (Ekvation 6, Ekvation 7).

$$\text{Antal planerade tåg, } TP = \frac{W_n}{Y_n}$$

W= Antal planerade vagnar (6)

Y= Maxantal vagnar som får plats och kan lastas på virkesterminalen

n = Virkesterminal (Krokom, Haxäng, Bensjö, Östavall, Hoting, Backe)

$$\text{Andel tågaavikelser, } A (\%) = \frac{TA_t}{TP_t} \times 100$$

TA = Antal tågaavikelser (inställda och ändrade tågomlopp) (7)

TP = Antal planerade tåg

t = år (2019, 2020)

Antal planerade tåg beräknades eftersom det inte fanns data på det att tillgå. Däremot fanns antal planerade vagnar från respektive terminal tillgängligt och användes för att beräkna antalet planerade tåg.

2.3. Intervjuer

För att identifiera och kartlägga möjligheter och begränsningar till flexibilitet i dagens tågsystem kompletterades den kvantitativa datainsamlingen med semistrukturerade intervjuer. Semistrukturerade intervjuer valdes eftersom det fanns särskilda frågor som behövde besvaras från de olika perspektiven, uppdragsgivare och uppdragstagare, samt att skribenten innehar kunskap om ämnet och kunde direkt forma relevanta frågor för att få det data studien behövde.

För att välja intervjurespondenter användes ett målinriktat urval. Ett målinriktat urval innebär att valen av respondenter gjordes utifrån syftet att få ökad förståelse och djup insikt inom ett särskilt ämne och inte den genomsnittliga uppfattningen (Merriam 1994). Urvalet av respondenter begränsades till två intervjurespondenter då ämnet var specifikt inriktat till virkestransporter på järnväg med data från Tövasystemet. Respondenterna representerade JO och SCA. De utvalda respondenterna hade arbetat med virkestransporter i flertal år och hade stor kännedom om det aktuella studieområdet.

De semistrukturerade intervjuerna skedde utifrån en skapad intervjuguide (Bilaga 3). Vid skapande av intervjuguiden genomfördes en testintervju med en anställd på SCA som inte skulle vara med i studiens dataunderlag. Testintervjun bidrog till en bättre struktur i intervjuguiden med öppnare frågor samt att det gav en uppfattning om intervjuens tidsåtgång. Intervjuguiden skickades ut några dagar i förväg till respondenterna för att de skulle ha möjlighet att läsa igenom frågorna innan intervjutillfället.

Respondenterna deltog frivilligt och var väl informerade om att de när som helst fick avbryta intervjun eller hoppa över enskilda frågor om de önskade. Anteckningar fördes löpande under intervjuerna. Efter intervjuerna renskrevs anteckningarna och skickades till respondenterna för godkännande av innehåll och tolkning innan materialet användes i studien. Intervjudata analyserades genom att jämföra de olika respondenternas svar på motsvarande frågor och svaren sammanställdes i en tabell.

2.4. Scenarioanalys i Woodflow

Woodflow (Ver 3.0.0) Optimizer användes till scenarioanalyser för att jämföra hur transportkostnader påverkades av att anpassa virkestransporter på järnväg till säsongsmönster och minskad risk för avvikelser. För att utforma scenarierna användes i denna studie kvantitativa avvikelседata i kombination med kvalitativ intervjudata för att avgöra vilka avvikelser och därmed risker som scenarierna skulle anpassas mot. Woodflow optimerar både bil- och tågtransporter utifrån givna villkor. I scenarioanalyserna styrdes tågflödena i Tövasystemet genom restriktioner i optimeringen till särskilda volymer medan biltransporterna optimerades fritt.

2.4.1. Scenarier

Totalt gjordes fyra olika optimeringar i Woodflow; bas-scenario, scenario 1, scenario 2 och ett fritt scenario. Scenarierna som testades skapades utifrån studiens tidigare resultat av säsongsmönster för inkörning, fördelning av tågavvikelser och vilka möjligheter som framkom av intervjuerna. För att minska risk för avvikelser styrdes lägre tågflöden från terminaler under perioder när avvikelserna särskilt förekommer. Det gavs inga restriktioner för tågflödena från Haxäng då denna terminal bara användes vid behov, och inte hade något säsongsmönster för inkörningen. Alla optimeringar gjordes på hela SCA:s verksamhetsområde eftersom kringliggande flöden kunde påverka flödena inom studieområdet. Restriktioner för alla tågflöden utanför Tövasystemet sattes lika i alla optimeringar, styrt mot det verkliga utfallet av tågtransporterna 2020. Tillgång, efterfrågan och ingående lager var samma i alla scenarier. Optimeringarna innehöll 4 tidsperioder då året delades in i 4 säsonger, enligt den kalendariska tre månaders indelning av årstider. Bakgrund och styrningar av tågflödena i de olika scenarierna presenteras nedan:

Bas-scenario

I Bas-scenariot sattes restriktioner i optimeringen så tågflödena (terminal-mottagare) styrdes till verkliga volymutfallet år 2020 +/- 1 ton per period.

Styrningen av tågvolymerna till det verkliga utfallet gjordes för att ha ett utgångsläge att jämföra transportkostnaderna med.

Fria scenariot

I det fria scenariot gavs inga restriktioner för tågflödena i Tövasystemet. Det gjordes för att jämföra kostnaderna i scenario 1 och 2 mot transportkostnader för optimala flöden enligt Woodflow.

Scenario 1 - Säsongsmönster

I scenario 1 sattes restriktioner i optimeringen så tågvolymerna från respektive terminal per sortiment styrdes till att följa säsongsmönstret för inkörningen. Restriktionerna i optimeringen hade ett spann på 1000ton per period för varje sortiment och terminal. Kvantiteten för inkörningens säsongsmönster avrundades nedåt till närmsta tusental som blev gränsen för minsta tågvolym. Maximala volymen var 1000 ton över minsta volymen.

Styrning av tågvolymerna enligt säsongsmönstret reducerar lagring och ger mindre hantering av virke på terminalerna (jämfört med lageruppbyggnad eller lagersänkningar). En ytterligare effekt av att matcha tågplaneringen med säsongsmönstret kan vara färre tågavvikelser på grund av virkesbrist på terminalerna.

Scenario 2 – Säsongsmönster, tågavvikelser och behov

Scenario 2 anpassades till säsongsmönster i inkörning, SCA:s behov av tågvolym under olika säsonger men kombinerades också med anpassning mot att minska risk för avvikelser. Volymsrestriktioner i optimeringen var att tågflödena styrdes till säsongsmönstret för alla sortiment förutom BM, som ändrades enligt Tabell 3. Styrningen i scenario 2 diskuterades med SCA för att validera att anpassningarna var realistiska.

Valet att ändra i styrningen av BM-flödena (Tabell 3) motiveras med att det är det största sortimentet som SCA hanterar i Tövasystemet. Det fanns mest BM i lager på alla terminaler vilket gav större spelrum, samt att BM är det sortiment som är minst kvalitetskänsligt och därför klarar längre lagringsperioder. För timmersortimenten och LM så styrdes tågflödena till säsongsmönster för att minska tågavvikelser orsakade av virkesbrist på terminalerna.

Bakgrunden till volymsrestriktioner för varje perioderna i scenario 2 (Tabell 3) förklaras nedan:

P1 avser perioden december till februari. Tågvolymen från Hoting minskades i P1 för att minska sannolikheten för inställda tåg på grund av lokproblem. Infrastrukturen till Hoting kräver diesellok och enligt intervjurespondenterna var dessa extra utsatta av lokproblem under kalla månader. Samtidigt var vintern en

period då SCA hade större behov av tågvolym till följd av långhelger och inför tjällossning som försvårar biltransporter av virke. För att öka total tågvolym och kompensera för minskade volymer från Hoting så ökades tågvolym från Krokomb, Bensjö och Östavall.

P2 avser perioden mars till maj. Under P2 direktkör större volymer till industrin med bil då väglager ska minskas inför sommaren på grund av kvalitetsaspekter. Till följd av ökad direktkörning till industri blir det något lägre behov av tågvolym. För att kompensera för de höjningar och sänkningar som gjordes i P1, ökades tågvolym från Hoting och minskades tågvolym från Bensjö, Östavall och Krokomb. Totala tågvolymen i P2 blir lägre än i scenario 1 och säsongsmönstret.

P3 avser perioden juni till augusti. Under sommaren fanns ett normalt behov av tågvolym. För att minska risk för inställda tåg till följd av förarbrist så minskades tågvolym från Krokomb. Detta eftersom Krokomb är beläget längre från industrierna och kräver fler förare än tågomlopp från mittområdets terminaler.

P4 avser perioden september till november. På hösten infaller ofta längre underhållstopp hos en större industri i studieområdet, vilket gav ett lägre volymbehov. Därför minskades tågvolym från terminaler med korta omlopp (Bensjö och Östavall) samtidigt som tågvolym från Hoting ökades.

Totalt under alla perioder justerades tågvolymerna från respektive terminal till att gå +/- 1%, jämfört med totala inkörningen av BM under året (Tabell 3).

Tabell 3. Volymrestriktioner för tågflöden av barrmassaved (BM) i indata till optimering av scenario 2 (säsongsmönster+avvikelser) från respektive terminal. Volymerna är angivna tillsammans som relativa siffror jämfört med indata i scenario 1 (säsongsmönster) och visar volymsskillnaden per period och totalt för alla perioder tillsammans

Table 3. Volume restrictions for conifer pulpwood flows (BM) on railway as indata for optimization of scenario 2, from each terminal the volume is given per period and as total for all periods together. The numbers are given as relative numbers compared to indata for scenario 1

		Period				
		P1	P2	P3	P4	Total
BM på tåg från terminal	Krokomb	+35%	-20%	-20%		0%
	Hoting	-30%	+15%		+15%	-0,5%
	Östavall	+35%	-15%		-15%	0%
	Bensjö	+35%	-15%		-20%	0%
	Backe					
	Haxäng					
	Total	+19%	-10%	-4%	-5%	

2.4.2. Modellformulering

Den faktiska modellformuleringen som använts i Woodflow publiceras inte med anledning av sekretess. Nedan är ett exempel på modellformulering för scenarioanalys utformade som i denna studie. Modellformuleringen är skapad utifrån litteraturstudie på tidigare forskningsartikel som publicerat modellformulering för optimeringsverktyget FlowOpt (Forsberg et al. 2005).

Index

H: Sortiment (h)
G: Sortimentgrupp (g)
T: Tidsperiod (t)
I: Tillgångsnod (i)
J: Mottagningsplats (j)
M: Virkesterminaler för tågtransporter (m)
Q: Tågsystemet
L_Q: Möjliga tåggrutter

Tillgångsnoder

S_{iht} : Tillgång av sortiment h vid tillgångsnod i vid tidsperiod t

Mottagningsplatser

D_{jgt}^- : Minsta efterfrågan för mottagningsplats j av sortimentgrupp g för tidsperiod t

D_{jgt}^+ : Maximal efterfrågan för mottagningsplats j av sortimentgrupp g för tidsperiod t

C_{jgt}^P : Kostnad per enhet vid ej uppfylld efterfrågan för mottagningsplats j av sortimentgrupp g för tidsperiod t

Terminaler

SO_{mgh}^M : Ingående lager för terminal m av sortiment h

U_{mht}^- : Minsta utflöde från terminal m av sortiment h för tidsperiod t

U_{mht}^+ : Maximalt utflöde från terminal m av sortiment h för tidsperiod t

Transport

D_{ij}^D : Avstånd mellan tillgångsnod i och mottagningsplats j

D_{mj}^{DT} : Avstånd mellan terminal m och mottagningsplats j

C_{ijhgt}^A : Kostnad för transporterad enhet på bil från tillgångsnod i till mottagningsplats j av sortiment h från sortimentgrupp g i tidsperiod t

C_{qmjhgt}^T : Kostnad per transporterad enhet på tåg mellan terminal m till mottagningsplats j av sortiment h från sortimentgrupp g i tidsperiod t

U_{Lq}^T : Maximal kapacitet för tåggrutt L_q i tidsperiod t

U_m^M : Lossningskapacitet hos terminal m

Beslutsvariabler

X_{ijhgt}^A : Flöden från tillgångsnod i till mottagningsplats j av sortiment h från sortimentgrupp g i period t

X_{qmjhgt}^T : Tågflöden från terminal m till mottagningsplats j av sortiment h från sortimentgrupp g i period t

Y_{igt} : Uppfylld efterfrågan av sortimentgrupp g hos mottagningsplats j i period t

W_{jgt}^P : Ej uppfylld efterfrågan av sortimentgrupp g hos mottagningsplats j i period t

Z: Totala kostnader för transporter

Övrigt

R^A : Alla bilflöden (i, j, g, h, t)

R^T : Alla tågflöden (i, j, g, h, t)

Målformulering

$$\begin{aligned} \text{Min } z = & \sum_{(ijhgt) \in R^A} C_{ijhgt}^A X_{ijhgt}^A + \sum_{(qmjght) \in R^T} C_{qmjght}^T X_{qmjght}^T \\ & + \sum_{j \in J} \sum_{g \in G} \sum_{t \in T} C_{jgt}^P W_{jgt}^P \end{aligned}$$

s.t.

$$\sum_{(ijhgt) \in R^A} X_{ijhgt}^A = S_{iht} \quad (A)$$

$$\sum_{(ijhgt) \in R^A} X_{ijhgt}^A + \sum_{(qmjght) \in R^T} X_{qmjght}^T + \sum_{j \in J} \sum_{g \in G} \sum_{t \in T} W_{jgt}^P \geq D_{jgt}^- \quad (B)$$

$$\sum_{(ijhgt) \in R^A} X_{ijhgt}^A + \sum_{(qmjght) \in R^T} X_{qmjght}^T + \sum_{j \in J} \sum_{g \in G} \sum_{t \in T} W_{jgt}^P \leq D_{jgt}^+ \quad (C)$$

$$\sum_{(ijhgt) \in R^A} X_{ijhgt}^A \leq U_m^M \quad (D)$$

$$\sum_{(qmjght) \in R^T} X_{qmjght}^T \leq U_{Lq}^T \quad (E)$$

$$\sum_{(qmjght) \in R^T} X_{qmjght}^T \geq U_{mht}^- \quad (F)$$

$$\sum_{(qmjght) \in R^T} X_{qmjght}^T \leq U_{mht}^+ \quad (G)$$

$$SO_{mgh}^M + \sum_{(ijhgt) \in R^A} X_{ijhgt}^A - \sum_{(qmjght) \in R^T} X_{qmjght}^T \geq 0 \quad (H)$$

$$\text{alla variabler} \geq 0 \quad (I)$$

Bivillkor (A) innebar att alla transporterade bilvolymen var lika med tillgången. Bivillkor (B) och (C) reglerade så levererade volymen och ej uppfyllt efterfrågan tillsammans höll sig inom givet spann för den efterfrågade volymen. Bivillkor (D) reglerade volymen inom max lossningskapacitet för terminalen. Bivillkor (E) reglerade tågflöden inom maxkapacitet för tåggrutten. Bivillkor (F) och (G) reglerade volymutflödet från terminalerna inom givet spann. Bivillkor (H) reglerar så att tågutflödet inte överstiger tillgängliga volymen på terminalen. Bivillkor (I) reglerar att alla variabler måste vara positiva tal.

2.4.3. Bearbetning av data

All bearbetning av data gjordes i Microsoft Excel (2016). Volymer som transporterats av SCA år 2020 användes som indata till alla scenarier. Underlaget för biltransporterade volymer beställdes av SCA Skogs IT-avdelning. Data levererades i en Excel-fil och innehöll datum för utförd transport, kvantitet (bruttovolym m^3_{fub} , vid ankomstmätning), avläggets koordinater, till vilken mottagningsplats och vilket sortiment. Volymerna aggregerades till noder per 10×10 km och utgjorde tillgängliga volymer i optimeringarna. Efterfrågan hos respektive industri för alla scenarier var samma som den verkliga volymen SCA transporterad dit med bil och tåg tillsammans år 2020. Data på utförda tågtransporter 2020 inhämtades från Viol 2 (Bilaga 2).

All volymdata tilldelades en period P1, P2, P3 eller P4 beroende på datum för utförd transport. Optimeringen startade från vintersäsongen (P1). Ingående terminallager för december 2020 inhämtades från SCA:s interna program eftersom det var optimeringens startpunkt.

Indata för kostnader var givna kostnader av SCA för bil- respektive järnvägstransporterna. SCA:s prismodell var i enheten kr/ton och all volymdata räknades om från m^3_{fub} till ton med omräkningstal tillhandahållet av SCA enligt Tabell 4.

Tabell 4. Omräkningstal från m^3_{fub} till ton, givna av SCA

Table 4. Conversion figures from m^3_{fub} to tonnes, given by SCA

Sortiment	Omräkningstal (ton/ m^3_{fub})
Talltimmer	0,895
Grantimmer	0,830
Barrmassa och Contortamassa	0,920
Lövmassa	1,050

Indatafilen till Woodflow skapades i Microsoft Excel (2016). De funktioner som användes i Woodflow finns i Bilaga 4. Indatafilen testkördes tillsammans med Creative Optimization, som grundat Woodflow, innan de skarpa optimeringarna gjordes. Vid testkörningen upptäcktes fel i indata där några avlägg saknade koordinater. Dessa avlägg togs bort och volymen som fanns på avläggen fördelades ut procentuellt på terminalerna utifrån storlek på terminalernas ingående lager.

Resultatet från optimeringarna visades direkt i Woodflow UX i tabellform och som kartvy över virkesflödena. Kostnaderna filtrerades fram för olika nivåer. Dels totala transportkostnader för hela SCA:s verksamhetsområde, dels för aktuella studieområdet och även enskilt för BM-flödena inom Tövasystemet.

2.4.4. Riskanalys

Tillvägagångssättet för riskanalysen anpassades till studiens resultat. Risk i denna studie är inställda tåg. Beräkningar gjordes för minskad sannolikhet att inställda tåg

sker på grund av lokproblem i scenario 2 till följd av att volymen minskades från Hoting i P1. Beräkningarna (Ekvation 8; Ekvation 9) utfördes med antagande att det fanns ett linjärt samband mellan totalvolym transporterad från terminalen och antalet inställda tåg som inträffar.

Reducerad sannolikhet för inställda tåg till följd av lokproblem per period,

$$S_p(\%) = RV_{np} * AI_{np} * 100$$

RV = Reducerad volymsandel (8)

AI = Andel av de inställda tågen som beror på lokproblem

n = terminal

p = period (P1, P2, P3, P4)

Reducerad sannolikhet för inställda tåg till följd av lokproblem under året,

$$ST(\%) = S_p * AI_T * 100$$

RV = Reducerad volymsandel (9)

AI = Andel av de inställda tågen som beror på lokproblem

n = terminal

T = Hela året, P1-P4

2.5. Validering

Validering av inhämtat data gjordes löpande med anställda på SCA. Validering av indatafil till Woodflow gjordes av grundarna CreativeOptimization. Resultaten från optimeringarna i Woodflow presenterades för SCA:s logistikchef för att validera rimligheten att kunna utföra de olika scenariernas tågtransporter med SCA:s resurser.

3. Resultat

I resultatet presenteras säsongsmönster för virkesflödena i hela Tövasystemet samt uppdelat per geografi i inlandsområdet och mittområdet för att belysa geografiska skillnader. Variationer i inkörning till terminal och utkörning från terminal av olika sortiment mellan månaderna presenteras med värden för CV. Därefter presenteras förekomst av avvikelser från tågflödena och de orsaker som lett till avvikelser, både totalt under åren och månadfördelning per underkategori av orsak. Vad begreppet flexibilitet innebär i kontext av järnvägstransporter av virke, vilka möjligheter som finns till att ändra tågflödena för att bemöta avvikelser i försörjningskedjan besvaras av intervjudata sammanställt i en processkarta och i tabeller. Sist presenteras analyser av riskreducering, kostnader och lagernivåer från optimeringarna av scenarierna där tågflödena styrdes dels mot säsongsmönster, dels i kombination att minimera avvikelser.

3.1. Säsongsmönster för virkesflöden

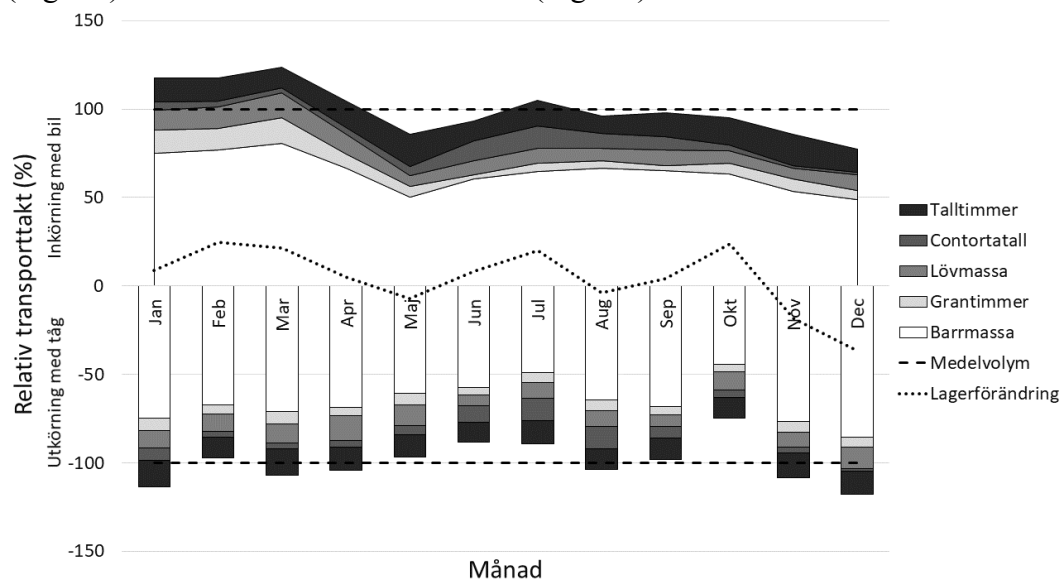
Säsongsmönstret presenteras för hela Tövasystemet (Figur 3) sedan indelat i inlandsområdet (Figur 5) och mittområdet (Figur 7). Efter respektive säsongsmönster visas CV för motsvarande områden, hela Tövasystemet (Figur 4), för inlandsområdet (Figur 6) och mittområdet (Figur 8).

Säsongsmönstret för alla terminaler i Tövasystemet (Figur 3) visar en högre inkörning i början av året och fram till april, sedan hölls inkörningstakten lägre än medel. Lagerförändringen visar att lagret ökade i början av året, under sommaren och i oktober. Där emellan under vår och höst var tågutkörningen högre än inkörningen till terminalerna. Relativa transporttakten för inkörning i Tövasystemet varierar mellan 77–124% och utkörningen mellan 75–118% (Figur 3). Inkörningen i inlandsområdet varierar mellan 75–147% och utkörningen mellan 72–115% (Figur 5), motsvarande siffror för mittområdet är 75–115% och 78–125% (Figur 7).

Sortimentvis visar säsongsmönstret i Figur 3 att inkörningen av sortimenten G och LM är som störst i januari till mars och minskar därefter. Sortimentet T kördes i relativt jämnt till terminalerna under året. Ett jämnare flöde i inkörning av T än G och LM syns också av CV som är lägre för T än G och LM (Figur 4).

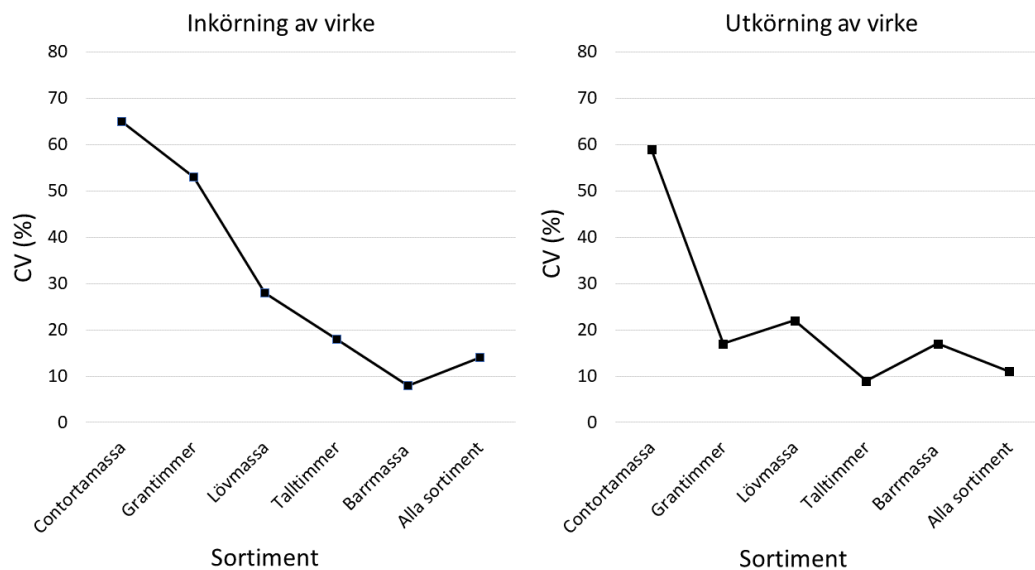
Inkörningen i inlandsområdet (Figur 5) var högre än medel fram till april, därefter var inkörningen under medel resten av året med undantag för juni. Högsta inkörningen var i mars och lägsta inkörningen i april. CV för inkörningen per sortiment i inlandsområdet (Figur 6) var högre än CV för inkörningen till hela Tövasystemet då alla terminaler inräknades (Figur 4).

Inkörningen i mittområdet (Figur 7) var mer jämn mellan månaderna än i hela Tövasystemet och inlandsområdet, vilket syns både på de relativa inkörningstalen och på CV för totala inkörningen. CV visar att sortimentvis varierar inkörningen mer mellan månaderna i mittområdet (Figur 6) än i hela Tövasystemet som helhet (Figur 4) men mindre än inlandsområdet (Figur 5).



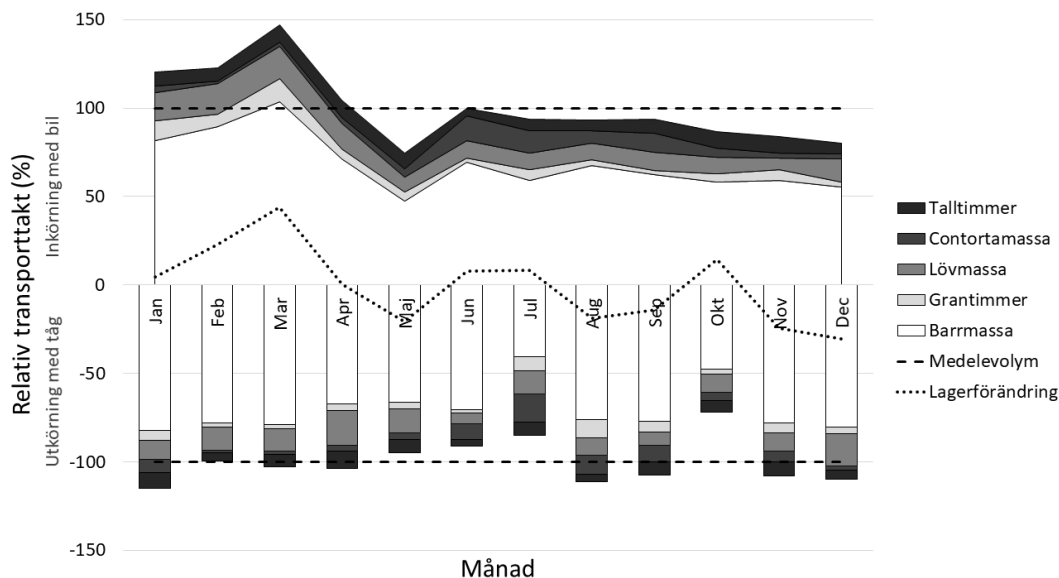
Figur 3. Säsongsmonster för virkesflödet i Tövasystemets virkesterminaler åren 2019 och 2020 som relativ transporttakt per månad. Relativ transporttakt är månadens inkörning och utkörning i förhållande till månadsmedel på årsvolymer för inkörd respektive utkörd volym. Den staplade ytan ovanför x-axeln avser inkörningen av virke med bil och de nedåtgående staplarna visar tågutkörningen. De olika färgerna representerar virkessortimentens fördelning under året. Den prickade linjen visar lagerförändringen, skillnaden mellan inkörd och utkörd volym

Figure 3. Seasonal pattern for wood flow in Tövasystemets wood terminals year 2019 and 2020 as relative transport rate per month. Relative transport rate is monthly transported volumes compared to monthly average from the annual volume for inflow respectively outflow of wood. The area above the x-axis refers to inflow of wood by trucks and the downward bars refers to the outflow of wood by train. The different colors represent the distribution of assortments during the year. The dotted line shows the stock change, the difference between inflow and outflow of volume.



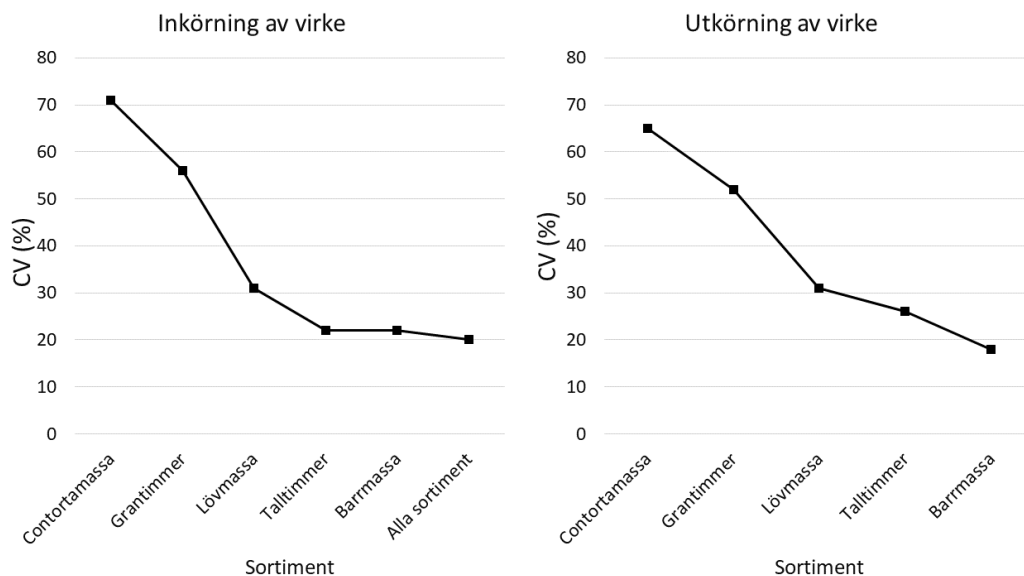
Figur 4. Variationskoefficienten (CV) för inkörd och utkörd virkesvolym per sortiment mellan månaderna till och från Tövasystemets virkesterminaler åren 2019 och 2020. CV är standardavvikelsen för transporterade volymer per månad jämfört med medelvärde. Detta visar på hur stor variationen är i transporterade volymer mellan månaderna för varje sortiment.

Figure 4. The coefficient of variation (CV) for inflow and outflow of wood per assortment between the months to and from Tövasystemets wood terminals years 2019 and 2020. CV is the standard deviation for transported volumes per month compared with average value for a month. This shows the variation in transported volumes between the months for each assortment.



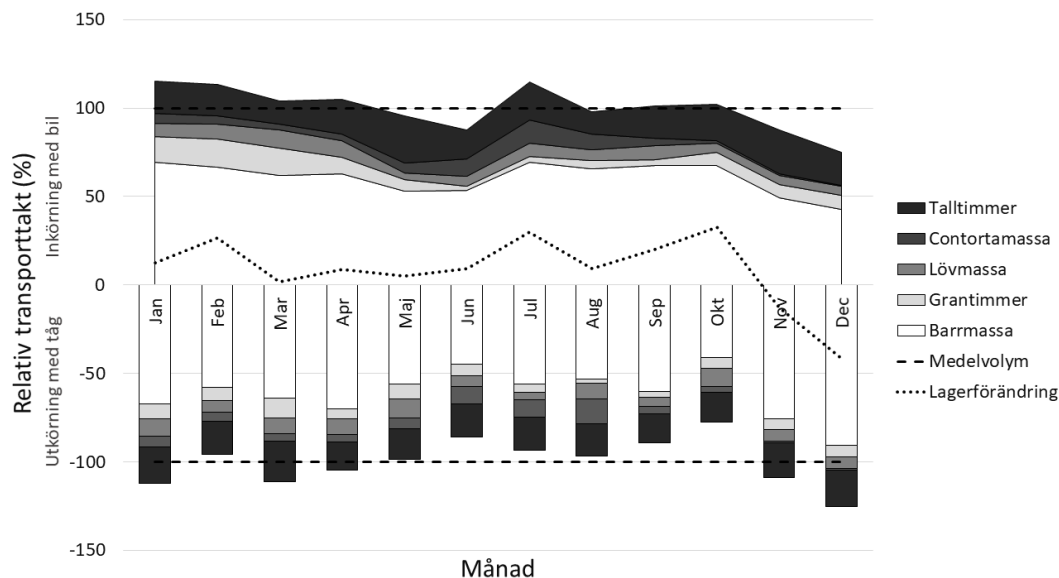
Figur 5. Säsongsmönstret för virkesflödet i Tövasystemets virkesterminaler i inlandsområdet (Krokom och Hoting) åren 2019 och 2020, som relativ transporttakt per månad. Relativ transporttakt är månadens inkörning och utkörning i förhållande till månadsmedel på årsvolymen för inkörd respektive utkörd volym. Den staplade ytan ovanför x-axeln avser inkörningen av virke med bil och de nedåtgående staplarna visar tågutkörningen. De olika färgerna representerar virkessortimentens fördelning under året. Den prickade linjen visar lagerförändringen, skillnaden mellan inkörd och utkörd volym.

Figure 5. Seasonal pattern for wood flow in Tövasystemets wood terminals in the inland geography (Krokom and Hoting) year 2019 and 2020, as relative transport rate per month. Relative transport rate is monthly transported volumes compared to monthly average from the annual volume for inflow respectively outflow of wood. The area above the x-axis refers to inflow of wood by trucks and the downward bars refers to the outflow of wood by train. The different colors represent the distribution of assortments during the year. The dotted line shows the stock change, the difference between inflow and outflow of volume



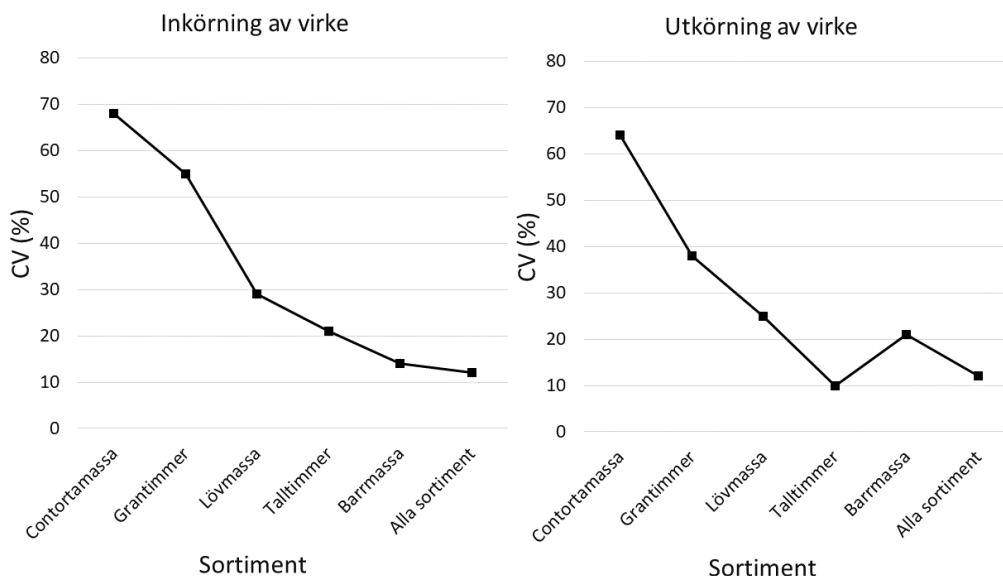
Figur 6. Variationskoefficienten (CV) för inkörd och utkörd virkesvolym per sortiment mellan månaderna till och från Tövasystemets virkesterminaler i inlandet (Krokom och Hoting) åren 2019 och 2020. CV är standardavvikelsen för transporterade volymer per månad jämfört med medelvärde. Detta visar på hur stor variationen är i transporterade volymer mellan månaderna för varje sortiment.

Figur 6. The coefficient of variation (CV) for inflow and outflow of wood per assortment between the months to and from Tövasystemets wood terminals in the inland geography (Krokom and Hoting) years 2019 and 2020. CV is the standard deviation for transported volumes per month compared with average value for a month. This shows the variation in transported volumes between the months for each assortment.



Figur 7. Säsongsmonstret för virkesflödet i Tövasystemets virkesterminaler i mittområdet (Östavall, Bensjö, Haxäng och Backe) åren 2019 och 2020, som relativ transporttakt per månad. Relativ transporttakt är månadens inkörning och utkörning i förhållande till månadsmedel på årsvolymer för inkörd respektive utkörd volym. Den staplade ytan ovanför x-axeln avser inkörningen av virke med bil och de nedåtgående staplarna visar tågutkörningen. De olika färgerna representerar virkessortimentens fördelning under året. Den prickade linjen visar lagerförändringen, skillnaden mellan inkörd och utkörd volym.

Figure 7. Seasonal pattern for wood flow in Tövasystemets wood terminals in the mid geography (Östavall, Bensjö, Haxäng and Backe) year 2019 and 2020, as relative transport rate per month. Relative transport rate is monthly transported volumes compared to monthly average from the annual volume for inflow respectively outflow of wood. The area above the x-axis refers to inflow of wood by trucks and the downward bars refers to the outflow of wood by train. The different colors represent the distribution of assortments during the year. The dotted line shows the stock change, the difference between inflow and outflow of volume



Figur 8. Variationskoefficienten (CV) för inkörd och utkörd virkesvolym per sortiment mellan månaderna till och från Tövasystemets virkesterminaler i mittområdet (Östavall, Bensjö, Haxäng och Backe) åren 2019 och 2020. CV är standardavvikelsen för transporterade volymer per månad jämfört med medelvärdet. Detta visar på hur stor variationen är i transporterade volymer mellan månaderna för varje sortiment.

Figure 8. The coefficient of variation (CV) for inflow and outflow of wood per assortment between the months to and from Tövasystemets wood terminals in the mid geography (Östavall, Bensjö, Haxäng and Backe) years 2019 and 2020. CV is the standard deviation for transported volumes per month compared with average value for a month. This shows the variation in transported volumes between the months for each assortment.

3.2. Avvikelser från planerade tågflöden

Resultaten på avvikelser från planerade tågflöden är för hela Tövasystemet och visar förekomst av avvikelser (Tabell 5), fördelning per kategori av orsak (Figur 9) för 2019 respektive 2020. Sedan presenteras avvikelser per underkategori av orsak för åren 2019 och 2020 tillsammans (Figur 10). De 4 underkategorierna som orsakade störst andel av avvikelserna analyserades vidare genom månadsfördelning av avvikelser för att se när under året de infaller (Figur 11).

Förekomsten av avvikelser som skedde i Tövasystemet 2019 respektive 2020 var jämn (Tabell 5). Mellan åren skiljde det sig åt i hur stor andel av tågavvikelse som var inställda respektive ändrade tåg (Tabell 5), där det var fler inställda tåg 2020. År 2019 var det 8% av alla planerade tågomlopp som blev inställda och 8% som blev ändrade (Tabell 5). År 2020 var det 11% av de planerade tågomloppen som blev inställda och 6% som ändrades (Tabell 5).

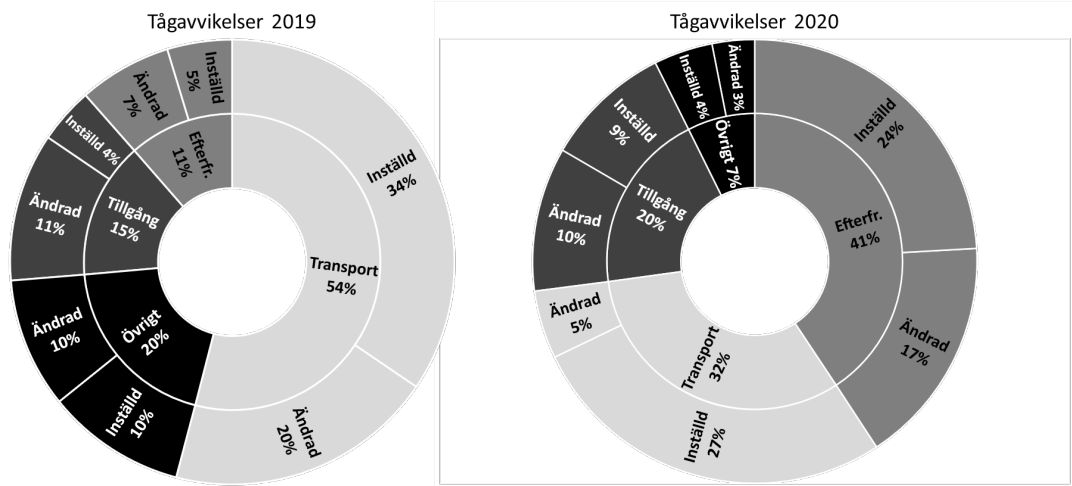
Mellan åren 2019 och 2020 skiljde det sig åt vilken kategori som orsakade störst andel avvikelser (Figur 9). År 2019 var det till följd av problem i transportkategorin medan 2020 var det förändrad efterfrågan hos industrin som orsakade flest

avvikelser (Figur 9). Vid djupare analys av orsaker till tågavvikelser visar Figur 10 att i ordningsföljd förarbrist, industristopp, lokproblem och virkesbrist orsakade flest inställda tåg. Månadsfördelningen av avvikelser inom dessa underkategorier visas i Figur 11 där virkesbrist främst orsakade avvikelser under sensommaren och hösten. Brist på lokförare gav fler avvikelser under sommar- och vintermånaderna. Lokproblem orsakade fler avvikelser under vintern och industristopp orsakade flest avvikelser i juli (Figur 11).

Tabell 5. Förekomst av avvikelser (inställda och ändrade tåg) i planerade tågomlopp i Tövasystemet 2019 och 2020

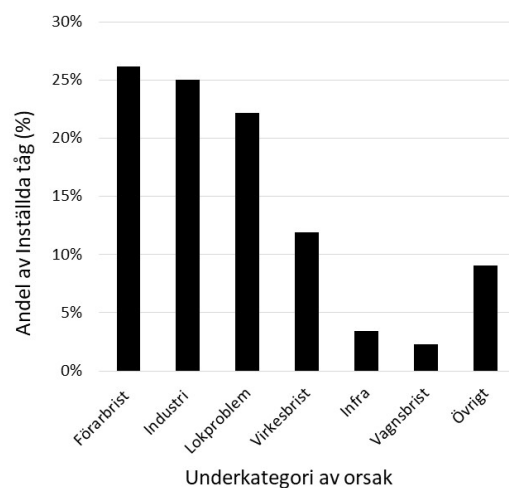
Table 5. Occurrence of deviations from planned train routes (canceled and changed train routes) in Tövasystemet year 2019 and 2020

	År	
	2019	2020
Förekomst av avvikelser	16%	17%
- varav inställda tåg	53 % (8% av planerade tågomlopp)	65% (11% av planerade tågomlopp)
- varav ändring i tågomlopp	47% (8% av planerade tågomlopp)	35% (6% av planerade tågomlopp)



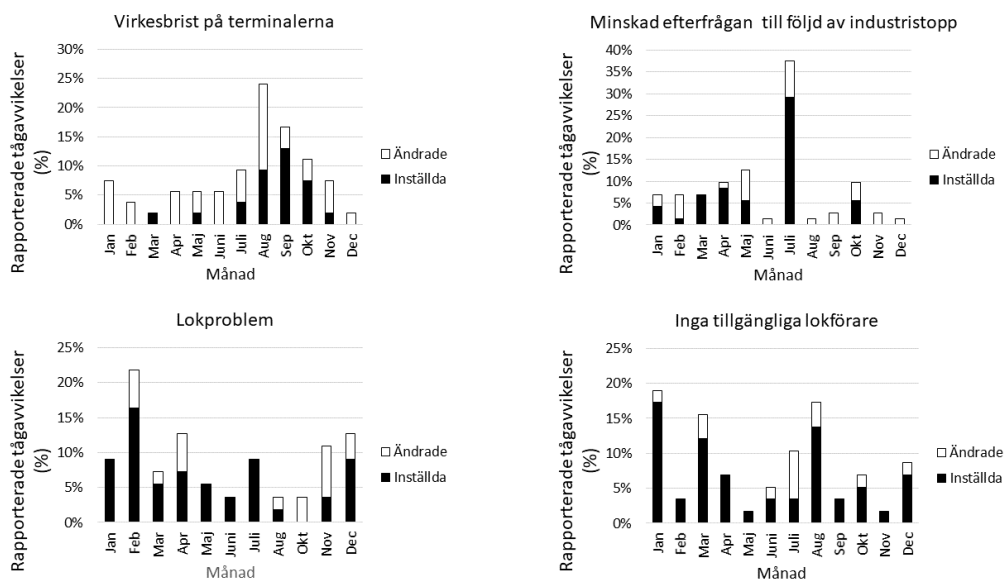
Figur 9. Fördelning av tågavvikelser (inställda och ändrade tåg) i Tövasystemet 2019 respektive 2020 per kategori av orsak (transport, efterfrågan och tillgång).

Figure 9. Distribution of train deviations (canceled and changes train routes) by category (transports, demand, or supply) in Tövasystemet year 2019 and 2020 respectively.



Figur 10. Fördelning av inställda tåg per underkategori av orsak (av totalt inställda tåg) i Tövasystemet 2019–2020.

Figure 10. Canceled train transports per subcategory in Tövasystemet 2019–2020.



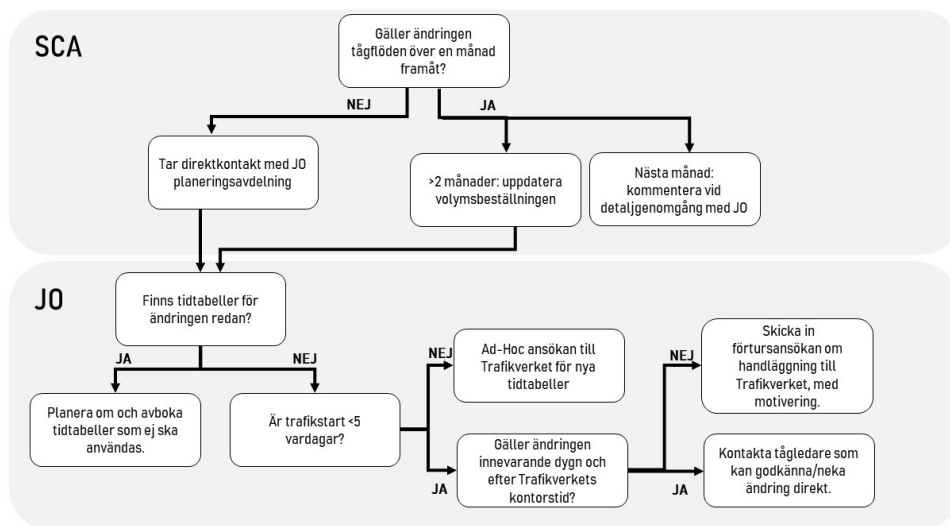
Figur 11. Månadsfördelning av avvikelser per underkategori av orsak i Tövasystemet 2019 och 2020. Diagrammen är baserad på antal rapporterade tågaavvikelser inom respektive underkategori (virkesbrist, industristopp, lokproblem och förarbrist).

Figure 11. Monthly distribution of deviations per subcategory of causing deviations in the Tövasystem 2019 and 2020. The diagrams are based on the number of reported train deviations within each subcategory (timber shortage, industrial stoppage, locomotive problems and driver shortage).

3.3. Flexibilitet i virkestransporter på järnväg och åtgärder för att bemöta avvikelser i försörjningssystemet

Resultatet från intervjuerna besvarade vad flexibilitet innebär i järnvägstransporter av virke, vilka möjligheter och begränsningar som finns att omplanera tågflöden för att bemöta avvikelser i försörjningssystemet. Först presenteras en processkartläggning över arbetssättet som SCA och JO har för ändringar av tågomlopp vid olika tidshorisonter (Figur 12). Sedan presenteras innebörden av begreppet flexibilitet i kontext av järnvägstransporter av virke enligt respondenterna, vilka möjligheter som finns till flexibilitet samt vad som begränsar den (Tabell 6). Därefter framförs respondenternas kommentarer till avvikelser som kvantifierades i tidigare delen av studien samt vilka åtgärder som är möjliga att vidta för att minimera inställda tåg och kostnadsdrivare för flexibilitet (Tabell 7).

Processkartläggningen (Figur 12) visar att ändringar av tågomlopp inom 5 dagar till trafikstart kräver att JO ansöker om förtur om handläggning hos Trafikverket. Om ändringen gäller innevarande dygn och det är efter kontorstid tar de direktkontakt med tågledare som kan hantera ändringen på en gång. För att JO ska kunna erbjuda kunder en möjlighet till flexibilitet att ändra lastningsterminal på kort sikt efter Trafikverkets tilldelningsprocess så söker JO extra tidtabeller. Genom att söka fler tidtabeller byggs det in en systematisk flexibilitet, där tidtabeller kan väljas närmare in på trafikstart.



Figur 12. Processkarta över arbetsgång mellan SCA och Järnvägsoperatören (JO) vid ändringar av tågomlopp.

Figure 12. Process map of workflow between SCA and the rail operator for changing in planned railway transports

Vid definitionen av flexibilitet i järnvägstransporter av virke ansågs den vara både kortsiktigt och långsiktigt (Tabell 6). Ju längre framförhållning desto större

möjligheter att uppfylla behoven. Med en veckas framförhållning kan flexibiliteten begränsas av många olika saker och är beroende på situationen i det enskilda fallet. Första begränsningen är om det finns någon ledig tid på banan eller inte. Om det finns ledig tid, resurser och förare kan arbetstidslagar med krav på förarvila begränsa möjligheterna att ändra. Trafikverkets regelverk om ansökningstider kräver förtursansökan om det är inom 5 vardagar vilket också begränsar möjligheterna till flexibilitet på kort sikt. Om framförhållningen däremot är lite längre, från en månad och uppåt så finns det större möjligheter att ändra inom de befintliga resurserna. Arbetsbelastningen för JO blir hög vid många kortsiktiga ändringar och är inte hållbart i längden. Vidare menar båda respondenterna att långsiktig flexibilitet ger större möjligheter (Tabell 6).

Tabell 6. Begreppet flexibilitet i virkestransporter på järnväg, vilka möjligheter och begränsningar som finns till flexibilitet vid olika tidshorisonter utifrån intervjuer med SCA och järnvägsoperatören (JO)

Table 6. Definition of flexibility in railway transports of roundwood, which possibilities and limitations for flexibility that exists with different time horizons based on data from interviews with SCA and the rail operator (JO)

SCA		JO	
Begreppet flexibilitet			
	1. Ändra lastningsterminal (kortsiktigt) 2. Ändra mottagare (kortsiktigt) 3. Stora förändringar, ökning – på längre sikt	1. Ändra lastningsterminal eller mottagare (Kortsiktig) 2. Ändra helt flöde: lastningsterminal och mottagare (Kortsiktigt) 3. Stora förändringar, ökning – på längre sikt	
Möjligheter och begränsningar till flexibilitet			
V E C K A	Möjligheter: - Ändra lastningsterminal - Ställa in tåg - Byta sortiment - Ändra vid störningar Begränsningar: Trafikverkets regelverk. Förartillgång. Arbetstidslagar. förarens platskännedom. Tillgång på fysiska resurser och sortiment.	Möjligheter: - Ändra lastningsterminal - Förflyttning av resurser vid behov av prioritering - Ev. ändra mottagare - Ev. lägga till omlopp Begränsningar: Befintliga tidtabeller. Trafikverkets regelverk. Bankapacitet. Olika signalsystem på olika bandelar och lok. Tillgängliga resurser och arbetstidslagar.	
M Å N A D	Möjligheter: - Ändra lastningsterminal - Ändra mottagare - Maximalt nyttjande av befintliga resurser Begränsningar: Förartillgång. Tidtabeller. Fysiska resurser.	Möjligheter: - Ändra lastningsterminal - Ändra mottagare - Ändra helt flöde (både lastningsterminal och mottagare, av redan förekommande) - Maximalt nyttjande av befintliga resurser, teoretisk volymökning upp till 100 %. Begränsningar: Riskbedömning och platskännedom för nya lastningsterminaler/mottagare. Terminaler och mottagares lastning/lossningskapacitet. Arbetstidslagar. Arbetsbelastning för JO:s planeringsavdelning.	
K V A R T A L	Möjligheter: - Ändra lastningsterminal och mottagare - Nya relationer - Öka volym 10–20 % med befintliga resurser. - Öka volym utom avtal ca 10 %. - Begränsningar: Tillgängliga resurser, förare och tillgång på marknaden. Volymstillgång på terminaler. Lastnings-/lossningskapacitet.	Möjligheter: - Nya lastningsterminaler - Nya mottagare - Ev. hyra in extra lok och vagnar för ökad kapacitet Begränsningar: Få aktörer som hyr ut virkesvagnar. Rekrytering och internutbildning av nya förare.	
Å R	Möjligheter: - Stor flexibilitet med befintliga resurser - Öka kapacitet Begränsningar: Generell lokförarbrist. Tillgång på lok och vagnar. Bankapacitet.	Möjligheter: - Nästintill full flexibilitet - Öka kapacitet Begränsningar: Generell lokförarbrist. Bankapacitet. Leveranstid >1 år för nya lok. Avtalslängd mellan JO och kund.	

Vid intervjuerna fick respondenterna ta del av tidigare resultat av månadsfördelningen av tågavvikelserna (Figur 11). Respondenterna bekräftade det kvantifierade mönstret av avvikelser då det stämde överens med deras upplevelse om när under året som olika underkategorier orsakar flest tågavvikelser (Tabell 7). De påtalade i synnerhet de lokproblem som uppstod under vintertid och JO förklarade att det var till övervägande del dieselloken som hade problem vid kalla temperaturer och snö. Förarbristen till loken uppstår oftast då det finns färre reserver, som vid semestertider. För att minimera dessa tågavvikelser föreslogs färre dieselomlopp vintertid och färre omlopp som kräver många förare under semestertider. JO:s förslag att minska andel tågvolym vintertid från terminaler där diesellok krävs (Tabell 7) stärks med kvantitativt data på tågavvikelser. Kvantitativa avvikelse data visar att 49% av inställda tåg på grund av lokproblem skedde under vinterperioden (P1) varav 58% gällde tågomlopp från Hoting som kräver diesellok (Tabell 9).

SCA förklarade (Tabell 7) att tågavvikelserna orsakade av virkesbrist kunde härledas från att lagernivåer hölls lägre under somrarna på grund av kvalitetskrav. Mot slutet av sommaren hinner inte anskaffningen ikapp behovet inför tågavgångarna och därför kan det resultera i inställda tåg. För att minska avvikelser orsakad av virkesbrist kan tågplanerna matcha anskaffningen och inkörningen bättre. Tågavvikelserna orsakade av ändrad efterfrågan var oftast till följd av industristopp och dessa var svåra att förutse när de ska inträffa och är svåra att hantera när de inträffar.

Tabell 7. Kommentarer om vanliga orsaker till tågavvikelser (inställda och ändrade tågomlopp), förslag på åtgärder för att minska dessa och vilka kostnader som drivs av flexibilitet i virkestransporter på järnväg samt vad det finns för besparingspotential. Data är sammanställd utifrån intervjuer med SCA och järnvägsoperatören (JO)

Tabell 7. Common causes of train deviations (canceled and changed train routes), suggestions on how to reduce these and what costs are driven by flexibility in rail transport of wood and where the potential for savings are. Data are compiled based on interviews with SCA and the railway operator (JO)

SCA	JO
Vanliga orsaker till tågavvikelser	
Virkesbrist på terminalerna: Orsakar flest tågavvikelser på sensommar/höst på grund av att det hålls låga lager på terminalerna till följd av kvalitetskrav. Industristopp: Oplanerade fabriksstopp sker när som helst och kan ge många inställda tåg eftersom efterfrågan minskar då förbrukningen står still.	Lokproblem: Ökade problem med loken vintertid stämmer överens med JO uppfattning. Särskilt många problem med diesellok. Förarbrist: Sämré reservtillgång på förare under semestertider. Upplever förarbristen jämnare mellan vintermånaderna än studiens resultat.
Åtgärder för färre tågavvikelser	
Vad SCA kan göra: → Utökat samarbete om järnvägstransporter med andra aktörer i skogsbranschen. → Minimera inställda tåg och ändringar på grund av virkesbrist genom att matcha tågplanerna med anskaffningen. → Mer kontinuerliga flöden, de tåg som planeras sällan (1-2 tåg per månad) är svårare att matcha anskaffning och transport till → Anpassa köravstånd/förarintensitet på tågomloppen för att möta volymefterfrågan (ökad/minskad), om lagernivåer på terminalerna klarar det. Oplanerade industristopp ger många tågavvikelser, möjliga åtgärder: → Styra om bilarna snabbare, för att få plats med planerade tågomlopp. → Öka vedplanens lagringskapacitet: minimera särhållning på vedplan, till exempel färre sortiment → Alternativa mottagningsplatser i form av mellanterminal dock dyrt med extra hantering via terminal → Köra långa omlopp för att minska volymen	Minimera tågavvikelser genom att planera efter säsongskarakteristiska problem: → Färre diesellopp vintertid → Lägre volymer vintertid pga. generellt lägre kapacitet då det krävs mer lokunderhåll → Omlopp som kräver färre förare vid semestertider Fördelar med säsongsbetonad tågkörning: → Större chans att klara årsvolymer → Ökad jämnhet i volym till mottagare Vad uppdragsgivaren kan göra: → Säkerställa att volymer finns där det är planerat → Se behov av förändringar tidigt Vad JO kan göra: → Säkerställa resurser och reservkapacitet för att klara tågplanerna. → Utökat branschsamarbete för JO. → Arbeta tillsammans med Trafikverket för kortare tidtabeller med mindre väntetid på andra tåg.
Kostnadsdrivare för ökad flexibilitet och besparingspotential i järnvägstransporter	
Kostnadsdrivare: - Helgs- och nattlastningar. - Avgifter för nya tidtabeller. - Hanteringskostnader. - Konsekvenser av många ändringar kan skapa andra problem i systemet som ger merkostnader. Till exempel skeva lagerbalanser, utökade direktkörningsområden. Skevt nyttjande av terminalresurser m.m. vilka driver kostnader. - Utökade resurser ger ökade fasta kostnader. Förutsatt att årsvolymer och resurser är detsamma är flexibilitet bara periodisering av kostnader. Besparingspotential: → Färre helg- och nattlastningar. → Minska transportavstånd på bil. → Effektivisera nuvarande resurser. → Ändra tågflödena i stället för att ställa in. → Köra tågen efter inkörningsmönster, i stället för höga lager och dubbelhantering = minskade hanteringskostnader.	Kostnadsdrivare: - Avgifter till Trafikverket: tåglägesavgift, banavgift, förtursansökning - Arbetstimmar personal - Förflyttning av förare ger merkostnader. - Utredningskostnader för nya terminaler och mottagare. - Ökade fasta kostnader vid utökade resurser. Besparingspotential: → Öka effektiviteten med befintliga resurser. Mer volym på varje tåg.

3.4. Analyser av kostnader, lagernivåer och reducerad sannolikhet för avvikelser med anpassning av tågflöden

I scenarier till optimeringarna anpassades tågvolymerna från terminalerna för att möta säsongsmönster för inkörning (scenario 1) respektive säsongsmönster och minskad risk för avvikelser (scenario 2). Först sannolikhet och påverkan för den risk som scenario 2 anpassades mot (Tabell 8). Sedan redovisas kvantifiering av reducerad sannolikhet för inställda tåg som scenario 2 innebar (Tabell 9). Resultatet från optimeringarna presenteras i Figur 13 på tre olika nivåer: för hela SCA:s verksamhetsområde, för Tövasystemet och för BM-flöden inom Tövasystemet. Resultatet för hela verksamhetsområdet presenteras eftersom optimeringen utfördes på den nivån, resultat för Tövasystemet enskilt presenteras eftersom dessa flöden är inom studieområdet och de som direkt påverkas av styrningarna av tågvolymerna i scenarierna. Eftersom ändringen i tågvolymerna i scenario 2 (säsongsmönster+avvikelser) jämfört med scenario 1 (säsongsmönster) endast berörde barmassaflödena på tåg presenteras resultatet även enskilt för BM-flödena inom tövasystemet. Sist redovisas lagernivåer efter varje period i optimeringarna jämfört med bas-scenariot (Tabell 10).

Genom att tågvolymerna minskades från Hoting i P1 när det var hög risk till perioder med lägre risk för inställda tåg till följd av lokproblem gav det reducerad sannolikhet på -17,4% för inställda tåg till följd av lokproblem i P1. För alla perioder, P1-P4, var motsvarande siffra -8,5%.

Tabell 8. Sannolikhet att ett inställt tåg till följd av lokproblem sker i period 1 och från Hoting samt vad det påverkar om det inträffar

Table 8. Probability that a canceled train as a result of locomotive problems occurs in period 1, are from Hoting and what an impact it has

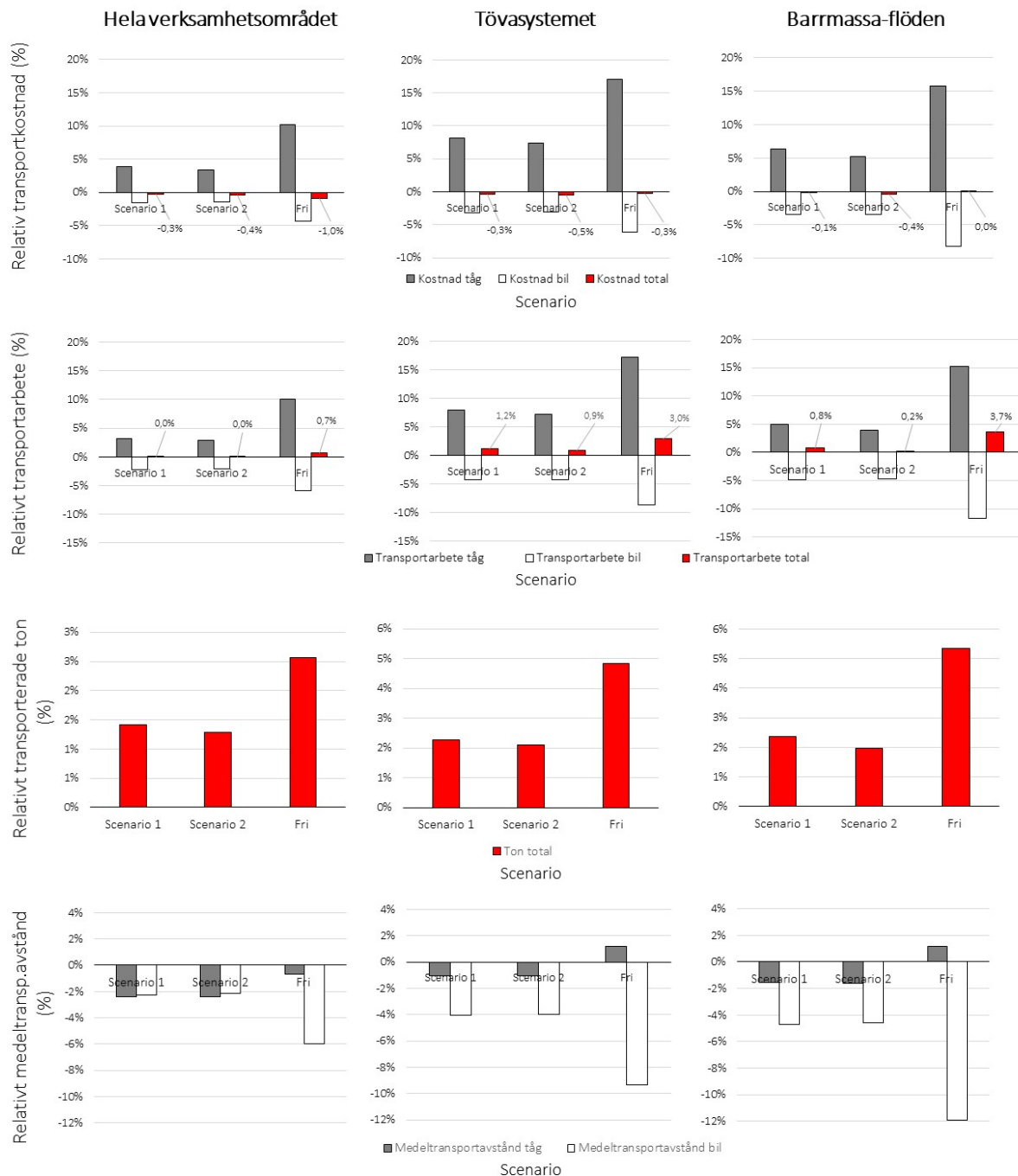
Risk	Sannolikhet	Påverkan
Att inställda tåg pga lokproblem som infaller i P1	49%	Lagerkostnad och kostnad för att ersätta underskott hos industri
Att inställda tåg pga lok i P1 är från Hoting	58%	Lagerkostnad och kostnad för att ersätta underskott hos industri

Tabell 9. Beräkning av reducerad sannolikhet att risken att inställda tåg till följd av lokproblem infaller inom olika tidsperioder (P1-P4) genom anpassning av volym i tågflöden som i scenario 2
Table 9. Calculation of reduction of probability for canceled rail delivery due to locomotive availability in different time periods (P1-P4,) due to adjusted volumes transported with rail as indata for scenario 2

Risk	Beräkning av reducerad sannolikhet	Reducering
Inställda tåg till följd av lokproblem i P1	$-0,3 * 0,58 = -0,174$	-17,4 %
Inställda tåg till följd av lokproblem i P1-P4	$-0,3 * 0,58 * 0,49 = -0,085$	-8,5 %

De resultat som presenteras från optimeringarna är relativ transportkostnad, -transportarbete, -transporterad ton och -medeltransportavstånd. Optimeringen visade att alla scenarier gav högre kostnader för järnvägstransporterna och lägre kostnader för biltransporterna medan den totala transportkostnaden minskade (Figur 13). För hela verksamhetsområdet gav det fria scenariot lägst kostnad och sett till Tövasystemet gav scenario 2 lägst kostnad och för BM-flöden inom Tövasystemet gav också scenario 2 lägst kostnad (Figur 13). Transportarbete flyttades över från bil till järnväg och den totala kvantiteten som transporterats ökade något i alla scenarier (Figur 13). Det totala transportarbetet var högre i alla scenarier för Tövasystemet och BM- flödena. Staplarna för transporterad kvantitet följer samma mönster som ökat transportarbete på järnväg (Figur 13).

För hela verksamhetsområdet minskade medeltransportavståndet med liknande andel för både järnväg och bil i scenario 1 och scenario 2 medan fria scenariot visade större minskning för biltransporterna (Figur 13). För Tövasystemet och BM-flödena visade det fria scenariot ett ökat medeltransportavstånd för järnvägstransporterna (Figur 13).



Figur 13. Transportkostnader, transportarbete, transporterad ton och medeltransportavstånd från optimering av de olika scenarierna (scenario 1: säsongsmönster, scenario 2: säsongsmönster och avvikelser, friascenariot: ingen styrning av tågflödena) i Woodflow. Resultatet presenteras i relativa siffror jämfört med bas-scenariot på tre olika nivåer: för totala verksamhetsområdet, för Tövasystemets område samt för barrmassa-flöden inom Tövasystemet.

Figure 13. Transportation costs, transport work, transported tonnes and average transport distance as results from results from optimization of different scenarios (Scenario 1: seasonal pattern, scenario 2: seasonal pattern and deviations, free scenario: no restrictions) in Woodflow. Presented as relative change compared with the base-scenario for the total business area, within the Tövasystem and for conifer pulpwood flows within the Tövasystem.

Lagernivåerna hos de olika terminalerna varierade fritt mellan perioderna eftersom lager på terminalerna inte reglerades i optimeringen. Skillnader i lagernivåerna jämfört med bas-scenariot visas i Tabell 10. Lägst variation jämfört med bas-scenariot för lagernivåer hos enskilda terminaler gav scenario 1 som följer säsongsmönstret för inkörningen till terminalerna, sedan kommer scenario 2 och största skillnaderna gav det fria scenariot (Tabell 10). För alla terminaler tillsammans var inte förändringen i lagernivå stor för någon period i något scenario (Tabell 10), då tillgänglig och efterfrågad volym per period var samma för alla scenarier. All volym som optimeringen valde att lagra på Haxäng gav stor skillnad jämfört bas-scenariot. Det blev till följd av att terminalen bara användes temporärt i bas-scenariot och ingen styrning av dessa tågflöden gjordes i varken scenario 1, scenario 2 eller fria scenariot. Oavsett om det var mycket eller liten volym som lagrades på Haxäng i optimeringen så blev skillnaden stor jämfört med bas-scenariot.

Tabell 10. Lagernivån för virkesterminalerna efter varje period (P1, P2, P3, P4) utifrån resultatet av optimeringarna på olika scenarier i Woodflow. Lagernivån anges som relativa tal i jämförelse med terminalernas lagernivåer i bas-scenariot

Table 10. Stock level at the wood terminals after each period from based at the results from optimization of scenarios in Woodflow. Stock level is stated as relative compared to the stock level in the base scenario

	Period:	Relativ lagernivå (%)											
		Scenario 1 (Säsongsmönster)				Scenario 2 (Säsongsmönster+avvikelser)				Fritt scenario (Ingen tågstyrning)			
		P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
Terminal	Krokom	-6	-35	-1	+5	-56	-50	+26	+5	+37	+249	-5	+127
	Hoting	-14	-20	-40	-20	+38	+2	-20	-20	-91	-80	-25	+16
	Östavall	+13	+161	+47	0	-6	+138	+21	0	+117	-78	+122	0
	Bensjö	+17	-34	-27	0	-24	-51	-92	0	-87	-100	+17	0
	Backe	-27	+2	+6	+1 3	-21	+8	0	+2	-100	-80	-74	-93
	Haxäng	+175	-47	+236	+4 03	+2797	-47	+246	+368	+19	+331	-60	+242
	Alla	0	+5	+1	+1	-3	+1	-2	-3	+2	+4	-3	+2

4. Diskussion

Först diskuteras innebörden av begreppet flexibilitet i kontext av järnvägstransporter av virke, sedan hur järnvägstransporter kan planeras flexibelt utifrån säsongsmönster och minimering av risk för inställda tåg. Därefter diskuteras resultatet från kvantifiering av säsongsmönster och avvikelser från planerade tågomlopp. Sedan diskuteras vilka möjligheter och begränsningar till flexibilitet som finns vid tågplanering och ändring av tågomlopp. Därpå förs resonemang kring studiens val av metod och material, styrkor och svagheter och förslag på studiens tillämpning och vidare studier ges. Sist presenteras slutsatser av studiens resultat. Studiens resultat går inte att direkt jämföra med andra studier då ämnet flexibilitet till säsongsvariationer i virkestransporter på järnväg inte har analyserats tidigare. Det betyder att denna studie tillfört ny kunskap som kan användas vid vidare studier inom ämnet. Det finns dock separata studier inom ämnena säsongsmönster, flexibilitet och multimodala transporter och därför jämförs resultatet i denna studie med dessa.

4.1. Begreppet flexibilitet vid järnvägstransporter av virke

Innebörden av begreppet flexibilitet kan definieras olika. I intervjuerna framfördes begreppet flexibilitet med två olika tidsperspektiv (Tabell 6). Till skillnad från Mattsson (2012) där definitionen av flexibilitet krävde att det skulle gå snabbt, så menade båda intervjurespondenterna att flexibilitet även kan innebära anpassningar på längre sikt, så som ökning eller minskning av kapacitet i perioder (Tabell 6). Den långsiktiga flexibiliteten stämmer bättre överens med definitionen från Markolf et al. (2019) som var transportsystemets förmåga att reagera och anpassa sig till förutsägbara förändringar och osäkerheter. Den långsiktiga flexibiliteten i Tövasystemets järnvägstransporter 2019–2020 kan kvantifieras till 43% genom skillnaden mellan lägsta transporttakten för utkörning 75% och högsta transporttakten på 118% (Figur 3).

Kortsiktiga behovet av flexibilitet innebär ändring av mottagare eller lastningsterminal vid förändrade behov. Den kortsiktiga flexibiliteten kan mätas genom andel ändringar av planerade tågomlopp som skedde i Tövasystemet 2019

och 2020 som var 8% respektive 6% (Tabell 5). Båda intervjurespondenterna var överens om att långsiktig flexibilitet är enklare för järnvägstransporter att hantera men rankade begreppet flexibilitet från kortsiktig till långsiktig (Tabell 6). Skogsbranschens särskilda behov av den kortsiktiga flexibiliteten i järnvägstransporter var också något som påtalades i Trafikverkets utredning (Andersson et al. 2020).

4.2. Hur flexibilitet kan användas vid tågplanering för att bemöta säsongsmönster och risker

Resultatet i studien visar på en strukturell flexibilitet som möjliggörs med en stor systemlösning. Det finns möjligheter att reducera riskfaktorer i en försörjningskedja genom att nyttja olika delar av systemets strukturella förutsättningar. I scenarioanalyserna nyttjades de olika terminalernas säsongsmönster för inkörning, olika infrastrukturella förutsättningarna med el och diesel, samt de olika avstånden från terminalerna till industrierna.

Om tågplaneringen följer säsongsmönster för inkörning till terminalerna bör det ge jämnare lagernivåer mellan olika perioder (Tabell 10) och mer volym kan direktköras till tåglastningarna. Jämnare lagernivåer innebär också mindre extrahantering av virke på terminalerna som annars sker i perioder vid lageruppbyggnad och lagersänkningar. Om tågflödet från varje terminal följer säsongsmönstret för inkörningen av timmersortimenten och LM så skulle det också ge färre avvikelser orsakad av virkesbrist hos terminalerna. Genom att planera resurserna för mindre risk ger det bättre nyttjande av resurserna än att de står oanvända till följd av avvikelser som gett inställda tåg.

Beräkningar från riskanalysen (Tabell 9) visar att styrning av tågflödena i scenario 2 för P1 medför en reducerad sannolikhet på -17,4% att det förekommer inställda tåg på grund av lokproblem i P1. Motsvarande siffra för hela året är -8,5 %. Anpassningarna i scenario 2 skulle som ovan beskrivet också innebära färre inställda tåg på grund av virkesbrist och förarbrist. Även om reduceringen inte är kvantifierad för virkesbrist och förarbrist så medför det ändå att totala reduceringen av sannolikhet för inställda tåg i scenario 2 troligtvis är mer än -8,5%.

Hur stor påverkan en risk har när den inträffar beräknades inte men vad för typ av kostnader de påverkar presenterades i Tabell 8. Risken att ett tåg blir inställt på grund av lokproblem medför att en tågvolym (2000-2500m³fub) inte lämnar virkesterminalen vilket leder till ett ökat lager och ökade lagerkostnader. Om det inte finns tillräckligt i lager hos industrin behöver den inställda tågvolymen ersättas från annat håll, ofta med biltransporter som kan ge ökade transportkostnader.

Att nyttja den långsiktiga flexibiliteten som testades i scenario 2 kan alltså medföra ökat totalnyttjande av resurserna, ökad volym på tåg, reducera

sannolikheten för riskfaktorerna lokproblem med -8,5% (Tabell 9), virkesbrist och förarbrist samtidigt som de uppfyller efterfrågad volym till en marginell påverkan på kostnaderna, -0,5%, i studieområdet (Figur 13). Flexibiliteten kunde dessutom utföras kostnadseffektivt som Mattsson (2012) påtalade var viktigt.

4.3. Säsongsmönster för virkesflöden och förekomst av avvikelser från planerade tågflöden

Säsongsmönster för virkesflödena i denna studie visade en högre inkörning i början av året till alla Tövasystemets terminaler tillsammans (Figur 3). Vid uppdelningen i inlandsområdets terminaler (Figur 5) och i mittområdets terminaler (Figur 7) visade det också en högre inkörning i början av året för båda geografiska områdena. Westlund et al. (2019) påtalade också en högre transporttakt i början av året och att det hängde ihop med anskaffningens mönster. I denna studie var det högre inkörning av sortimenten G och LM på vintern medan inkörningen av T höll sig jämnare under året, även vid vårförfall och hösten då det ofta är lägre bärighet. Det säsongsvaryerande sortimentsutfallet bekräftas även av Westlund et al. (2019). Det är inget oväntat resultat eftersom gran och löv ofta växer på blötare marker med lägre bärighet och tall växer på bärigare marker där virket kan skördas och transporteras under alla säsonger.

CV ger en bild över hur inkörningen och utkörningen av olika sortiment varierar mellan månaderna. Resultatet var att CM skiljde sig mest i inkörning mellan månaderna (Figur 4, Figur 6, Figur 8), vilket skulle kunna förklaras av att det var SCA:s minsta sortiment sett till volym. BM som utgjorde största volymen varierade minst i inkörning (Figur 4, Figur 6, Figur 8). BM inkluderar även båda trädslagen tall och gran vilket också kan bidra till att inkörningen var jämnare oavsett säsong. CV för utkörningen var lägre än CV för inkörningen för alla sortiment förutom BM (Figur 4). Det betyder att utkörningen generellt höll en jämnare nivå än inkörningen och terminalernas syfte att hålla lager som buffert användes för jämnare utflöde. G var det sortiment som skiljde mest i variation i inkörning jämfört med variation i utkörning (Figur 4). En förklaring till det kan vara den vinterlagring som SCA använde sig av. Under vintern skedde en medvetet ökad inkörning av G för att lagras på terminalerna till sommaren.

Några skillnader i virkesflödena mellan inlandsområdet och mittområdet syns bland annat på CV. CV för total inkörning i inlandsområdet (Figur 6) var högre än mittområdet (Figur 8), vilket betyder att det varierade mer mellan olika månader i inlandsområdet än i mittområdet. Det tydliggörs också utav säsongsmönstren där den relativa transporttakten för inlandsområdet varierade mellan 75–147% (Figur 5) medan spannet för mittområdet var 75–115% (Figur 7). Det skiljde sig också åt

vilken månad som hade den högsta inkörningstakten, vilket var mars i inlandsområdet (Figur 5) och juli i mittområdet (Figur 7).

Säsongmönstret för olika sortiment i inlands- respektive mittområdet kompenserade för varandra. Det kan härledas vid jämförelser av CV. CV för G, T, CM och LM var högre för inlandsområdet (Figur 6) och mittområdet (Figur 8) separat jämfört med hela Tövasystemet som helhet (Figur 4). När inkörningen av ett sortiment under en månad var låg i ena området kompenserades det genom att inkörningen var högre i andra området, vilket gav ett jämnare CV för Tövasystemet som helhet.

Vid kvantifiering av tågavvikelser syntes stor andel inställda tåg orsakad av minskad efterfrågan under sommaren 2020 (Figur 11) vilket kan ha påverkat säsongmönstret för utkörningen (Figur 3, Figur 5, Figur 7). Lägre utkörning på sommaren skulle även kunna förklaras av semestertider och att färre tåg planerades, det är dock inget som denna studie innefattade. Den minskade volymutkörningen i oktober förklaras av lägre efterfrågan då det årliga underhållsstoppet hos en av SCA:s större industrier skedde under denna period.

Förekomst av avvikelser i planerade tågomlopp skiljde inte mycket mellan åren 2019 och 2020 däremot skiljde sig andelen inställda respektive ändrade tåg (Tabell 5). Eftersom år 2019 hade en större andel ändrade tåg än 2020 (Tabell 5) betyder det att det fanns en större möjlighet till flexibilitet att ändra i tågplaneringen med kort framförhållning år 2019 då avvikelser uppstod. Det skiljde sig åt mellan åren vilken kategori som orsakade flest avvikelser (Figur 9). Ju lägre andel totala avvikelser desto bättre, men en högre andel ändringar av de tågavvikelser som sker är bättre än inställda tåg. Detta eftersom en större totalvolym som är transporterad med järnväg ger lägre kostnad (Hilmola 2008). Samt att inställda tåg kan medföra ökat volymbehov från andra transportslag

Särskilda omständigheter under åren 2019 och 2020 som inte sker återkommande varje år kan påverka resultatet för andel avvikelser per kategori på tågflödena samt månadsfördelningen. Avvikelserna på grund av förarbrist i Figur 10 och månadsfördelningen i Figur 11 kan ha påverkats av covid-19 pandemin som startade i Sverige i början av 2020. De restriktioner som funnits i landet under år 2020 kan ha lett till högre sjukfrånvaro och därmed fler avvikelser orsakad av förarbrist. Intervjurespondenten upplevde en jämnare nivå för sjukfrånvaro under vintermånaderna än vad resultatet i Figur 11 visade och månadsfördelningen på förarbristen skulle kunna härledas till vanliga semesterperioder vid skollov i Sverige.

4.4. Möjligheter och begränsningar till flexibilitet i järnvägstransporter

Långsiktig flexibilitet är i nuläget det som järnvägstransporter lättare kan anpassa sig till utifrån regelverk och tillgänglighet av resurser. Snabba omplaneringar under innevarande dygn till inom en vecka kräver dessutom mycket arbete och ger i längden ett inoptimalt nyttjande av resurserna jämfört om man hade sökt tidtabellerna under tilldelningsprocessen (Tabell 6). Ju tidigare ett behov av förändring kan identifieras desto bättre möjligheter till flexibilitet och ändring, samt bättre totallösning.

Trots Trafikverkets regelverk som inte ger några rättigheter att ändra i tidtabellerna med kort varsel och i synnerhet inte inom 5 dagar, så är det i praktiken möjligt (Figur 12, Tabell 6). Vid särskilda händelser går det att ansöka om tidigare handläggning och i och med de begränsade möjligheterna att söka tidtabeller med kort varsel så byggs det in en systematisk flexibilitet genom att söka extra tidtabeller vid tilldelningsprocessen. Fler tidtabeller möjliggör enklare ändring av lastningsterminal (Figur 12, Tabell 6). Andersson et al. (2020) menade att många gånger får tåg stå och vänta på spöktåg, tåg som inte avgått men tidtabellerna har inte avbokats, eftersom det bokats upp tidtabeller som inte nyttjas till följd av den oflexibla tidtabellshanteringen. Tidtabeller bör avbokas i god tid innan om de inte behövs, samtidigt som det sedan är enklare att få tillbaka tidigare avbokade tidtabeller än att söka helt nya. Med denna strategi blir det enklare att erbjuda kunder den flexibilitet de behöver. Resultatet visar att 47% respektive 35% (Tabell 5) var ändrade tågomlopp 2019 och 2020 i stället för inställda tåg, vilket tyder på att JO kunde erbjuda SCA en kortsiktig flexibilitet med detta arbetssätt.

Möjligheterna till att öka kapaciteten är till stor del beroende på hur mycket som redan är planerat i ordinarie tågplan (Tabell 6). Om det finns lediga resurser kan dessa planeras ut till maximalt nyttjande med en månads framförhållning. Att öka totalvolymen inom befintliga resurser är möjligt genom att välja kortare tågomlopp (Tabell 6). En kapacitetsökning utöver befintliga resurser är beroende av vad marknaden har att erbjuda och är inget alternativ för kortsiktig flexibilitet, eftersom det oftast kräver åtminstone ett kvartals framförhållning. För att kunna erbjuda ytterligare flexibilitet i kapacitet kortsiktigt krävs utökade resurser (Tabell 6), vilket är en kostnadsdrivare för ökad flexibilitet (Tabell 7). Ökat nyttjande av befintliga resurser skulle vara möjligt med effektivare tidtabeller med mindre skogstid, tid som tåget får stå och vänta på andra tåg som tar upp järnvägssträckan. Många av de begränsningar som framkom under intervjun (Tabell 6) är branschproblem som också konstaterats i Trafikverkets utredningar (Andersson et al., 2020; Knutsson & Bärthel, 2021) och seminarium (Trafikverket, 2021b). Branschproblem är brist på bankapacitet, generell lokförarbrist, hantering av tidtabellssökningar och mycket ståtid i väntan på andra tåg på banan.

4.5. Konsekvenser av att anpassa tågplaneringen till säsongsmönster och risker

I scenario 2 där tågvolymerna anpassades till att möta säsongsmönster i kombination med att minska risker för inställda tåg så gav resultatet från optimeringen en något lägre kostnad jämfört med bas-scenariot (verkliga tågtransporter 2020) på alla tre nivåer: hela verksamhetsområdet, Tövasystemet och BM-flödena (Figur 13). För hela verksamhetsområdet gav det fria scenariot allra lägst kostnad (Figur 13) vilket är rimligt då Woodflow fick välja alla flöden själv och blir därför det bästa alternativet kostnadsmässigt som optimeringen kunde generera. Det fria scenariot var däremot inget realistiskt alternativ och därför finns inget intresse att efterlikna det scenariot i verkligheten. Skillnaden i kostnader mellan det fria scenariot och scenario 2 var inte stor (Figur 13), vilket betyder att styrning enligt scenario 2 bara är något dyrare än de optimala flödena för kostnadsminimering men att det dessutom är realistiskt och önskvärt. Vid analys av resultatet begränsat till Tövasystemet så gav scenario 2 de lägsta kostnaderna (Figur 13). Att scenario 2 gav lägst kostnad i Tövasystemet kan bero på att styrningen som gjordes av BM-volymer på tågen passade bättre var de tillgängliga volymerna fanns geografiskt än att endast styra tågflödena efter säsongsmönster som i scenario 1. Värt att påtala är att säsongsmönstret är resultat av den verkliga inkörningen 2019 och 2020 och behöver därför inte motsvara de optimala bilflödena. Alla scenarier gav besparingarna i kostnader och det beror av att mer transportarbete flyttas över från bil till tåg och ett kortare medeltransportavstånd ger ofta lägre kostnader (Figur 13). Optimeringen valde mottagare närmare terminalen än basscenariot vilket minskade medeltransportavståndet för tåg i scenario 1 och 2 (Figur 13).

När Forsberg et al. (2005) utvärderade optimeringsverktyget FlowOpt och införde en tågpendel så minskade biltransporterna med 35%. I denna studie så minskar biltransporterna med knappt 5% i scenario 1 och 2 (Figur 13) bara av att öka järnvägstransporterna i ett redan befintligt system, och en potential att minska biltransporterna med upp till 8% i det fria scenariot (Figur 13). Forsberg et al. (2005) presenterade dessutom en energiminskning med 20% till följd av de minskade biltransporter. Denna studie omfattade ingen beräkning av energiminskning men ett konstaterande kan göras att resultatet i denna studie med minskat transportarbete för bil bör också minska den totala energikonsumtionen i logistikkedjan. När Beaudoin et al. (2007 a) optimerade virkestransporter med hänsyn till färskheten på virket gav det en ökad vinst med 8,8%. Färskhet är inget som beräknades i denna studie men att följa säsongsmönster för inkörningen borde kunna ge en bättre omsättning på virkeslagrena på terminalerna jämfört med lageruppbbyggnader om inte säsongsmönster följs (Tabell 10). Gustavsson (2015) kom fram till slutsatsen att ökad användning av järnvägstransporter ger jämnare färskhet på virkesleveranserna till industrin. Sammantaget utifrån ovan nämnda

studier noteras att det kan finnas ytterligare fördelar med att nyttja flexibiliteten i järnvägstransporterna till säsongsvariationer, än direkt ekonomiska och riskminimering. Detta eftersom att följa säsongsmönster för inkörning och nyttja flexibilitet bör omsätta lager, minska inställda tåg och därmed öka andel volym på järnväg, vilket i sin tur kan ge jämnare färskhet på leveranser och lägre energikonsumtion.

Att anpassa tågplaneringen utefter säsongsmönster och tågstörningar, skulle enligt optimeringen i Woodflow inte påverka transportkostnaderna nämnvärt. Något som måste hanteras är lagerförändringarna, vilket skulle kunna ge ökade kostnader eller åtminstone en periodisering av dessa. Vid validering med SCA av resultaten från optimeringarna visade det sig att det fria scenariot gav stora obalanser i lager mellan olika terminaler efter perioderna (Tabell 10) och var inte realistiska lagersituationer. Planerade lagerförändringar i scenario 2 är i relation med den styrning som gjordes enligt Tabell 3 och skulle kunna gå att hantera enligt SCA (Sundberg 2022, Pers. komm.).

En viss osäkerhet med att göra tågplanering enligt scenario 2 skulle vara om lagerökningen inte får plats på Hotings VT under P1 och bilarna därmed måste välja en mottagare lägre bort. Det skulle kunna resultera i ökade kostnader för biltransporterna och totala transportkostnader i motsats till vad resultatet i denna studie visade. Eftersom den teoretiska lagerförändringen är känd i förväg skulle det gå att planera mot önskade lagernivåer innan justeringar i tågplaneringen enligt scenario 2 införs. En planerad lagerförändring är dessutom enklare att hantera och behöver inte bli dyrare än oförutsedda som kan uppstå när det sker många tågavvikelser.

Till skillnad från många andra studier inom virkestransporter där fokus varit besparingar så har denna studie fokuserat på flexibilitet för att öka leveranssäkerhet och reducera risker. Att resultatet visade en något minskad kostnad vid ökad flexibilitet till säsongsvariationer var inget mål med studien men är högst intressant då kostnadsminimering alltid är en hög prioritet i försörjningskedjor. Denna fallstudie baserade scenarioanalyserna efter realistiska hänsynstagande till risker, vilket var något som Kogler och Rauch (2018) saknade i tidigare studier. I likhet med vad Kogler och Rauch (2019) föreslog som vidare studier, så har denna studie tagit hänsyn av andra typer av risker än klimatförändringen och tagit fram scenario för transportplaner som anpassats till förutsägbara risker och säsongsmönster för tillgång och efterfrågan. Denna studie visar på en ökad resiliens med multimodala transporter genom att nyttja den strukturella flexibiliteten i stora systemlösningar för järnvägstransporter. Paralleller kan dras till Kogler och Rauch (2019) slutsats att en kombination av unimodala och multimodala transporter ger ökad resiliens i försörjningskedjan vid extremväder.

4.6. Val av metod och material

En fallstudie är avgränsad till hur verkligheten ser ut för ett särskilt fall. Det är också en vanlig metod för att bilda en uppfattning av verkligheten genom att undersöka ett representativt fall. Slutsatser som dras från en fallstudie måste göras med hänseende att de inte kan representera hela verkligheten, men resultatet är användbart och ökar i värde om ytterligare studier kan bekräfta resultatet (Ejvegård 2009). Denna studie innebar en fallstudie för SCA:s virkestransporter inom Tövasystemet år 2019 och 2020. SCA som värd företag för denna studie var lämpligt då de innehar ett väl etablerat järnvägssystem och inarbetade rutiner för arbetssätt kring tågplanering och ändringar av tågomlopp, samt att det fanns tillgängligt uppföljningsdata. Data från de specifika två åren valdes dels för att det fanns tillgängligt data på tågavvikelser, dels för att få data från hela verksamhetsår i en tidsperiod nära studiens utförande. Kvantitativt data från två år i stället för ett, valdes för att minska effekten av eventuella särskilda händelser och beslut som påverkar säsongsmönster till terminalerna. Avgränsningen till delar av SCA:s terminalsystem gjordes för att anpassa arbetet till studiens omfattning. Eftersom SCA:s systemlösning är en av de större i Europa (SCA 2020) så kan det antas att möjligheterna till flexibilitet blir färre vid mindre systemlösningar eftersom det då medför färre alternativa lastningsterminaler och mottagare att välja bland.

Metoden i denna studie kombinerade kvantitativt data med kvalitativt data. Data i optimeringen byggde på historiskt data. Det historiska säsongsmönstret för inkörningen kan antas vara relativt likt även framåt då olika förutsättningar för anskaffning och transport varierar med säsongskaraktäristika väderförhållanden som är liknande för varje år. För att bekräfta säsongsmönstret för terminalerna ytterligare och minimera effekter av särskilda händelser så skulle data från fler år kunna analyseras. Volymdata för tågtransporterna registreras utifrån kollektiv med en given volym per vagn för varje sortiment. Den verkliga volymen per vagn varierar mellan olika lastningar och när olika personer lastar vagnarna. Därför är den angivna lagerförändringen i säsongsmönstren (Figur 3, Figur 5, Figur 7) osäker eftersom bilvolymerna för inkörningen mäts med större noggrannhet för varje lass jämfört med tågagnarna där en schablonmässig volym registreras som utkörd volym. Detta är dock inget som kunde ha förhindrats då detta data är det enda tillgängliga som finns för tågvolym.

Kvantitativa volymdata var primärdata medan tågavvikelserna var sekundärdata. All manuell hantering av data skapar en osäkerhet då den mänskliga faktorn kan ha gjort något fel vid bearbetningen av data. För att minimera risken för det kontrollerades volymdata att det överensstämde vid senare tillfälle där upprepning av volymutsökning i Viol 2 gjordes. Sekundärdata är svårare att validera, men då uppföljningsdata på tågavvikelserna användes vid debitering så har åtminstone både JO och SCA varit överens om avvikelserna i data som användes. Manuellt

noterade uppföljningsdata var värdefull information i studien som inte kunde inhämtats på annat sätt.

Kvalitativa data inhämtades genom intervjuer. I denna studie valdes semistrukturerade intervjuer då det ansågs lämpligt eftersom ämnet är brett och syftet med intervjun var att få del av deras djupa kunskap om virkestransporter på järnväg. En mer strukturerad intervju hade eventuellt missat viktig information då skribenten inte innehar alla svarsalternativ, medan en mer ostrukturerad intervju hade kunnat ge väldigt spridda svar som potentiellt inte kunde motsvara varandras från olika perspektiv. Andra intervjumetoder hade kunnat leda till svårigheter med analysen och bildande av scenarier att testa i Woodflow. Två respondenter som var väl insatt i det aktuella studieområdet och de tågtransporter som skett inom fallstudien utsågs för att ge ett bra komplement till det kvantitativa volymdata som sammanställdes innan. Vid intervjuerna gav respondenterna ofta överensstämmande svar och det uppmärksammades att de arbetat tillsammans länge och var väl insatt i motpartens situation på många områden. Ibland överensstämde inte tidshorisonten de ansåg olika saker krävde. Exempelvis ansåg SCA några gånger att det krävdes längre tidshorisont för ändringar av flöden än vad JO angav (Tabell 6). Att det skiljde sig skulle kunna bero dels på ledtiden mellan SCAs förfrågan och att JO hunnit verkställa, dels på förhållningssättet till frågorna. Olika förhållningssätt kan vara de teoretiska möjligheterna utifrån regelverk och avtal jämfört med vad som var möjligt i praktiken. För att få ett bredare perspektiv och minska effekten av det avtal som SCA och JO har så kunde fler järnvägsoperatörer och skogsföretag intervjuats. Resultat från intervjun som uttalat berodde på att avtal uteslöts från studien och fokuset i intervjun var generella möjligheter och begränsningar för att kunna representera generella möjligheter. En risk med intervjuerna är intervjuovana som kan leda till att frågor ställs ledande för att styra respondentens svar. I det här fallet hade intervjun testats innan för att öva på att ställa öppna frågor utan att påverka respondenten.

Scenarioanalyser är ett bra sätt att testa nuvarande transportsystem i olika situationer och ge en bild av hur olika scenarier påverkar, i det här fallet, kostnader. För att utforma scenarierna användes i denna studie kvantitativa avvikelldata i kombination med kvalitativa intervjudata för att avgöra vilka risker som scenarierna skulle anpassas mot. Ett annat tillvägagångssätt för att utforma scenarierna är att placera olika risker i en riskmatris likt Lundqvist och Peterson (2008), för att se vilka typer av risker som har högst sannolikhet att de inträffar och ger största påverkan. I detta fall kunde skribenten avgöra vilka risker som skulle prioriteras att förhindras utifrån respondenternas svar i kombination med kvantitativa data och därför behövdes ingen matris användas.

Det finns tidigare studier som presenterar teori och ramverk för hur riskanalyser kan utföras i försörjningskedjor (Chopra & Sodhi 2004; Lundqvist & Peterson 2008; Korbaa et al. 2017). I denna studie tillämpades inte någon av metoderna fullt

ut då studien i detta fall begränsas till en del av en hel försörjningskedja. Sannolikheten för att en viss risk ska inträffa och dess påverkan på kostnader beräknades inte. Därför utformades ett enklare tillvägagångssätt att beräkna och åskådliggöra den reducerade sannolikheten för inställda tåg av lokproblem (Tabell 8). Vid riskanalysen användes sannolikheten att ett inställt tåg var av en viss kategori, period och terminal, och inte sannolikheten att ett inställt tåg inträffar. Riskanalysen i denna studie (Tabell 8: Tabell 9) tillförde ett värde på reduktion av sannolikheten men viktigt att denna siffra inte misstolkas för att vara sannolikheten att risken inträffar överhuvudtaget. Denna studie presenterade även vilka kostnader som riskerna kunde påverka men det gjordes inga beräkningar vad den faktiska kostnaden skulle innebära (Tabell 8). Trots att denna kostnad inte beräknades så finns den och uppstår i virkesförsörjningen. Riskanalyser kan alltså göras mer utförligt likt ramverk och beräkningar som använts i tidigare studier (Chopra & Sodhi 2004; Lundqvist & Peterson 2008; Korbåa et al. 2017) men för denna studie anpassades riskanalyserna till vad som var möjligt att beräkna utifrån resultatet. Dessa var tillräckliga för syftet att åskådliggöra vad anpassningar leder till för reduktion av sannolikhet för inställda tåg orsakade av lokproblem.

Linjär programmering är en vanlig metod att använda för optimering av virkesflöden och har tidigare använts av flertalet studier (Andersson et al. 2008; Forsberg et al. 2005; Frisk et al. 2010; Widninghoff 2014). Woodflow UX var ett lämpligt val av optimeringsprogram, eftersom det är ett modernt och avancerat beslutsstödsystem som också används av flera företag i branschen. Woodflow kunde hantera de parametrar som studien behövde så som periodisering, ingående lager och restriktioner för att styra tågflödenas volymer i optimeringen. Säsongsmonstret för terminalerna i denna studie byggde på verkliga inkörningen till terminalerna 2019 och 2020. I Woodflow optimerades sedan bilflödena fritt och därför överensstämmer inte bilflödena i Woodflow med säsongsmonstret för den verkliga inkörningen. Valet att styra tågflödena utifrån verkligt säsongsmonstret och inte optimerade säsongsmonster gjordes eftersom det i nuläget är svårt att alltid köra optimalt, och därav troligt att kommande säsongsmonster är mer likt verkliga historiska data än det optimerade. Resultatet från optimeringen av scenariot visar därför hur planering utifrån verkligt säsongsmonster passade det tillgängliga volymerna för enskilda året 2020. Spannet mellan minimala och maximala volym för tågflödena per period sattes till 1000 ton för alla sortiment i scenario 1 och 2. I efterhand konstaterades det att 1000 tons skillnad utgör olika stora andelar beroende på hur stor volym som sortimentet utgör. I stället hade ett procentuellt spann kunnat väljas för att volymen ska kunna anpassas till respektive sortiment. Valet att inte hantera FFG som ett eget sortiment i denna studie motiveras med att resultatet från denna studie ska kunna appliceras och vara relevant för planering av framtida järnvägstransporter.

En svaghet i resultatet från optimeringarna i Woodflow är att scenarierna endast testades på 2020 års data för tillgängliga volymer. Det varierar mellan olika år var exakt de tillgängliga volymerna uppkommer vid väg och därför skulle optimeringen av scenariernas olika tågstyrningar ge olika utfall på kostnader beroende på år. Eftersom minskningen av transportkostnader var liten skulle optimeringen kunna upprepas på data från olika års tillgängliga volymer för att se hur stor effekt som variationen mellan olika år har på kostnaderna från optimeringen. En till svaghet med studien är att den inte beaktat eller beräknat eventuell ökad förekomst av avvikelser på tågtransporterna då volymer ökades från terminaler i perioder.

Styrkor med studien är kombinationen av kvantitativt data som förstärktes med expertiskunskap om arbetssätt som är förankrad i verksamheten men inte studerad tidigare. Det kvalitativa data gav en djupare förståelse för ämnet och möjliggjorde skapande av realistiska scenarier att testa i optimeringen. Intervjuaren och respondenterna hade en professionell relation sedan tidigare och det gav ett bra samspel under intervjun och ett gemensamt språkbruk. Intervjuaren hade också kunskap och bakgrundsfakta om studieområdet och därför kunde intervjuerna direkt nå en djupare nivå. Vid validering med SCA bekräftades trovärdigheten i resultatet och resultatet ansågs realistisk vilket stärker resultatet och dess tillämpning.

4.7. Tillämpning och vidare studier

Resultatet i denna studie har bidragit med många användbara insikter om multimodala transporter som kan tillämpas i skogliga verksamheter. Studien resultat visar på möjligheter att använda historiskt data för att kartlägga avvikelser och möjligheter att planera transporter för att reducera risker i verksamheten. Det ger också ett tillvägagångssätt för skogsbolag i branschen att praktiskt tillämpa scenarioanalyser för deras multimodala transporter i Woodflow. Något som måste beaktas är också de lagerkostnader som kan uppstå vid olika alternativ och är något som vidare studier kan omfatta.

Kvantifierade tal för Tövasystemet är inte applicerbara för andra geografier och järnvägssystem. Beroende på geografi kan säsongsmönster för volyms- och sortimentsutfall skilja sig åt och även förekomst av och vilka kategorier som orsakar avvikelser i järnvägstransporterna. Möjligheten till långsiktig flexibilitet skulle i andra järnvägssystem kunna begränsas av antal terminaler och mottagare att välja bland, eller tvärtom inneha större möjlighet till långsiktig flexibilitet om järnvägssystemet innefattar flera alternativa lastnings- och lossningsplatser. Den kortsiktiga flexibiliteten kan skilja sig åt då konkurrens om bantider på järnvägssträckor kan vara olika stor beroende på järnvägssträcka. I södra Sverige där det är mer tätbefolkat och fler persontåg går blir konkurrensen större och möjligheten att få extra eller ändra tidtabeller skulle kunna vara betydligt svårare.

Vid tillämpning för andra järnvägssystem och områden behöver de olika faktorerna kartläggas utifrån enskilda fallen, men metoden och fördelarna med att nyttja flexibilitet i järnvägstransporter av virke för att möta säsongsmönster och minimering av avvikelser kvarstår.

Vidare studier skulle kunna göra riskanalyser mer utförligt än denna studie och då även inkludera kostnadsberäkningar för den påverkan som risken medför. Vidare studier kan också studera och utveckla andra metoder och nyckeltal för att mäta transportsystems flexibilitet. Fler studier inom ämnet virkestransporter på järnväg behövs för att utöka skogsbranschens kunskaper om transportslaget. Det är i synnerhet aktuellt nu i samband med den pågående klimat- och hållbarhetsutvecklingen som sker i samhället med ökade krav på miljövänliga transporter.

4.8. Slutsatser

De slutsatser som resultatet i denna studie kom fram till är att:

- Det finns möjligheter till både långsiktig och kortsiktig flexibilitet i virkestransporter på järnväg. Den långsiktiga flexibiliteten innebär förmågan att anpassa järnvägstransporterna utifrån förutsägbara variationer och osäkerheter. Den kortsiktiga flexibiliteten innebär förmågan att ändra lastningsterminal eller mottagare vid förändringar.
- Kvantifiering av Tövasystemets långsiktiga flexibilitet år 2019–2020 var 43% och den kortsiktiga flexibiliteten upp till 8%. Den långsiktiga flexibiliteten som kan planeras in i förväg är större och enklare att hantera.
- Större systemlösningar för virkestransporter medför en strukturell flexibilitet som möjliggör anpassning av tågplaneringen till säsongsvariationer. Vid test på Tövasystemets järnvägstransporter reducerades sannolikheten för inställda tåg till följd av lokproblem med 8,5% till marginell påverkan (-0,5%) på transportkostnaderna.
- Variationer i säsongsmönster för inkörning i olika geografier kompenserar för varandra. Säsongsmönstret för virkeflödet i Tövasystemets terminaler visar att det generellt är större variation i inkörningen till terminal mellan månaderna än utkörningen från terminal. Till exempel var variationskoefficienten för grantimrets inkörning 53% och utkörningen 17%. Motsvarande siffror för talltimmer var 18% och 9%.

Referenser

- Andersson, G., Flisberg, P., Lidén, B., & Rönnqvist, M. (2008). RuttOpt - A decision support system for routing of logging trucks. *Canadian Journal of Forest Research*, 38(7), 1784–1796. <https://doi.org/10.1139/X08-017>
- Andrén, M. & Fjeld, D. (2004). Information flow model for swedish pulp wood supply. *Silva Carelica*. 45:150–158.
- Bark, P. (2005). *Effektiva tågssystem för vagnslast och systemtåg*. Stockholm: TFK – TransportForsk.
- Beaudoin, D., LeBel, L. & Frayret, J.-M. (2007). Tactical supply chain planning in the forest products industry through optimization and scenario-based analysis. *Canadian journal of forest research*, 37 (1), 128–140. <https://doi.org/10.1139/X06-223>
- 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), 81–88. <https://doi.org/10.1080/14942119.2003.10702472>
- Bjereld, U., Demker, M. & Hinnfors, J. (2009). Varför vetenskap?: om vikten av problem och teori i forskningsprocessen. Lund: Studentlitteratur.
- Boholm, K. (n.d.). *Tillförlitlig järnväg - Skogsindustrierna*. https://www.skogsindustrierna.se/vara-asikter/aktuella_fragor/tillforlitlig-jarnvag/ [2022-02-09]
- Carlsson, D., & Rönnqvist, M. (2005). Supply chain management in forestry - Case studies at Södra Cell AB. *European Journal of Operational Research*, 163(3), 589–616. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.02.001>
- Chopra, S. and Sodhi, M. M. S. (2004). Managing risk to avoid: Supply-chain breakdown. *MIT Sloan Management Review*, 46(1).
- CreativeOptimization. (2022). *Woodflow - Creative Optimization*. <https://creativeoptimization.se/losningar/woodflow/> [2022-03-02]
- Davidsson, A., & Asmoarp, V. (2016). *Skogsbrukets vägtransporter 2016. En nulägesbeskrivning av flöden av biomassa från skog till industri* (Arbetsrapport 2019: 1007). Uppsala: Skogforsk. https://www.skogforsk.se/cd_20190307161827/contentassets/cabd68ec0e91487783a4ad2c60e08829/arbetsrapport-1007-2019.pdf
- D’Amours, S., Rönnqvist, M. & Weintraub, A. (2008). Using Operational Research for Supply Chain Planning in the Forest Products Industry. *INFOR. Information systems and operational research*, 46 (4), 265–281. <https://doi.org/10.3138/infor.46.4.265>
- Ejvegård, R. (2009) Vetenskaplig metod. 4:2 red. Lund: Studentlitteratur AB.

- Etlinger K., Rauch P., Gronalt M. (2014). Improving rail road terminal operations in the forest wood supply chain – a simulation based approach. *HMS*, 2014, 199–206. [Conference Paper presented at 16th International Conference on Harbor, Maritime and Multimodal Logistics Modelling and Simulation 2014]
- Fjeld, D., & Dahlin, B. (2017). *Nordic logistics handbook: forest operations in wood supply*. 7 uppl. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet.
[Kurskompendium SG0206 Marknadsinriktad virkesförsörjning]
- Fohlin, P., & Silver, M. (1997). Kvantitativa modeller för lokalisering av sågverk, med tillämpning på Norrbottens län. lic.-avh. Luleå: Luleå tekniska univ.
<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ltu:diva-17234>
- 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), 101–114.
<https://doi.org/10.1080/14942119.2005.10702519>
- Frisk, M., Göthe-Lundgren, M., Jörnsten, K., & Rönnqvist, M. (2010). Cost allocation in collaborative forest transportation. *European Journal of Operational Research*, (2), 448–458.
<https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2010.01.015>
- Gustavsson, O. (2015). Simulering av kombinerade rundvirkestransporter och kartläggning av dess effekter på servicedimensioner. (Arbetsrapport 2015: 13) Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi.
- Hillson, D., & Hulett, D. T. (2004). Assessing risk probability: alternative approaches. *Paper presented at PMI® Global Congress 2004—EMEA*, Prague, Czech Republic. Newtown Square, PA: Project Management Institute.
- Hilmola, O.-P. (2008) *Railway Wagon Market Analysis and New Multi-Purpose Wagon Solution for Freight Transports-Finnish Manufacturing Perspective*. (Research Report 2008: 194) Lappeenranta University of Technology.
- Knutsson, A., & Bärthel, F. (2021). *Uppdrag att intensifiera arbetet med att främja intermodala järnvägstransporter* (Publikationsnummer: 2021:254; TRV 2018/93255). Borlänge: Trafikverket
- Kogler, C. & Rauch, P. (2018). Discrete event simulation of multimodal and unimodal transportation in the wood supply chain: a literature review. *Silva fennica* (Helsinki, Finland : 1967), 52 (4). <https://doi.org/10.14214/sf.9984>
- Kogler, C. & Rauch, P. (2019). A discrete-event simulation model to test multimodal strategies for a greener and more resilient wood supply. *Canadian journal of forest research*, 49 (10), 1298–1310.
<https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-054>
- Korbaa, O., Boufaied, A. and Lajimi, C. (2017) Assessing and modelling transport delays risk in supply chains. *International Journal of Advanced Operations Management*, 9(4), p. 225. doi: 10.1504/ijaom.2017.10010983.
- Lumsden, K. (1998). *Logistikens grunder : teknisk logistik*. Lund: Studentlitteratur
- Lundqvist, S. and Peterson, T. (2008). Risks in the Swedish Forest, Paper and Packaging Industry. *Jönköping International Business School*, (May). Tillgänling: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:3777/FULLTEXT01.pdf>.
- Luo, L., O’Hehir, J., Regan, C.M., Meng, L., Connor, J.D. & Chow, C.W..

- (2021). An integrated strategic and tactical optimization model for forest supply chain planning. *Forest policy and economics*, 131, 102571. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102571>
- Markolf, S. A., Hoehne, C., Fraser, A., Chester, M. V., & Underwood, B. S. (2019). Transportation resilience to climate change and extreme weather events – Beyond risk and robustness. *Transport Policy*, 74, 174–186. <https://doi.org/10.1016/J.TRANPOL.2018.11.003>
- Mattsson, K.-G. (2008). Skogsnäringen vill ha mera järnväg. *Skogsaktuellt*, 27 Oktober. <https://www.skogsaktuellt.se/?p=29448&%3Bpt=108&%3Bm=1422>
- Mattsson, S.-A. (2012). *Logistik i försörjningskedjor*. 2., [uppdaterade och utök.] uppl. Lund: Studentlitteratur
- Mattsson, L.-G. & Jenelius, E. (2015). Vulnerability and resilience of transport systems – A discussion of recent research. *Transportation research*. Part A, Policy and practice, 81, 16–34. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.06.002>
- Merriam, S. B. (1994). *Fallstudien som forskningsmetod*. Upplaga 1:22. Lund: Studentlitteratur
- SCA (2020). *Års- och hållbarhetsredovisning*. Sundsvall: SCA
- SMHI. (2020). *Årstider* | SMHI. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/arstider/arstider-1.1082> [2022-02-09]
- Ta, C., Goodchild, A. V. and Pitera, K. (2009) Structuring a Definition of Resilience for the Freight Transportation System, *Transportation Research Record*, 2097(1), pp. 19–25. doi: 10.3141/2097-03.
- Trafikverket. (2021a). *Järnvägsnätsbeskrivning 2022* (Utgåva 2021–10–05). Borlänge: Trafikverket
- Trafikverket. (2021b). *Trafikverket - Konkurrenskraftiga godstransporter på järnväg*. Trafikverket, vimeo. <https://vimeo.com/610432629/6323fc3746>
- Westlund, K., Jönsson, P., Fjeld, D., Kogler, C., & Rauch, P. (2019). *MultiStrat interim work report for WP2 (Supply chain operations analysis). Common framework for analysis of variations in harvesting production, truck-, rail- and ship transport of roundwood* (Vol. 2). Uppsala: Skogforsk, Era-Net Transport.
- Widinghoff, J. (2014). *Ny logistiklösning i samband med nedläggningen av Vilhelminas sågverk*. (Arbetsrapport 2014: 417) Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet.

Personlig kommunikation

- Rönnqvist Erik (2022), CreativeOptimization (2022-03-08)
 Sundberg Martin (2022), SCA Logistikchef (2022-03-09)

Bilaga 1 – Viol 2, VIS

SDC VIOL, SDCSRVTS02 - [Köpare, volym och värde 2]

Arkiv Redigera Tjänster Funktioner Fönster Hjälp

Urval

Leveransår:
Datum
fr o m - t o m: 20190101 20201231

Datum
☒ Redovisningsdatum
☐ Mätdatum
☐ Avlämningsdatum

Brytning per
☐ Ingen brytning
☒ Månad
☐ Vecka
☐ Dag

Kollektivomräkning
☒ Ja
☐ Nej

Köpare:

Köpt från: ☒

Sålt till:

Leverantör: ☐

Leverantörskod:

SSTE:

Mottagn. plats:

Ursprung:

Uppdrag:

Virkesorder:

Kontraksnummer:

Certifiering:

Vmf / Kollektiv:

Prislista:

Mätsyfte: 1 Vederlagsmätning ☐ Jämför mätsyften

Detaljinformation

☒ Köpt från Hkod ☐ Ursprung
☒ Köpt från Intr ☐ Uppdrag
☒ Sålt till Hkod ☐ Virkesorder
☒ Sålt till Intr ☐ Kontraksnummer
☒ Leverantör ☐ Certifiering
☒ Lev. koder ☐ Kollektiv
☒ Sortiment ☐ Prislista
☒ Trädslog ☐ Prisräknat särredovisat
☐ Egenskapskod ☐ Tillägg/Avdrag
☒ Mottagn. plats
☐ Avlastn. plats

Fördelning sort., kvalitet, procent:

Måttslag:

Mätmetoder:

Bilaga 2 – Viol 2, TIS

SDC VIOL, SDCSRVTS03 - [TIS - Volymer & värden, befraktare 1]

Arkiv Redigera Tjänster Funktioner Fönster Hjälp

Urval

Resultat

Leveransår:

Datum från - till: 20190101 20201231

Befraktare:

Transport köpt från:

Transportör:

Lastare:

Råvara köpt från:

Råvara sålt till:

Råvara sålt till kontrakt:

Mottagare:

SSTE:

Mottagningsplats: Bärighetsklass:

Virkesgrder: Slutkört:

Ursprung/Uppdrag:

FrånTyp/Begrepp:

TrpKontrakt:

TrpCertifiering:

Vmf/Kollektiv:

Ägare Nummer Msl Datum

TrpPrislista:

BefKoder:

Måtsylte:

Tillägg/Avdrag:

Datumtyp

☒ Redovisningsdatum

☐ Avlämningsdatum

☐ Mätdatum

Transportedel

☐ Endast transportedel

☐ Inkl. transportedel

☒ Exkl. transportedel

Sökningstyp

☐ Resultat

☒ Statistik

Period per

☐ Ingen brytning

☒ Månad

☐ Vecka

☐ Dag

☐ Rdat

☐ Adat

☐ Mdat

Detaljinformation

☒ Befraktare Hkod

☒ Befraktare Intrn

☒ Transport köpt från Hkod

☐ Transport köpt från Intrn

☐ Transportör

☐ Lastare Hkod

☐ Lastare Intrn

☐ Lastare

☒ Råvara köpt från Hkod

☒ Råvara köpt från Intrn

☐ Råvara köpt från Intrn2

☐ Råvara sålt till Hkod

☐ Råvara sålt till Intrn

☐ Råvara sålt till kontrakt

☐ Mottagare Hkod

☐ Mottagare Intrn

☒ Sortiment

☒ Trädslog

☐ Frånbegrepp

☐ Egenskapskod

☒ Mottagningsplats

☐ Avlastningsplats

☐ Bärighetsklass

☒ Virkesorder

☐ Ursprung

☐ Uppdrag

☐ TrpKontrakt

☐ TrpCertifiering

☐ Kollektiv

☐ TrpPrislista ägare

☐ TrpPrislista nummer

☐ TrpPrislista måttslag

☐ TrpPrislista datfrom

☐ BefKoder

☐ Redovisningsnr

☒ Dölj övriga

☐ Dölj klartexter

Fördeln. SSTE:

Måttslag:

Bilaga 3 - Intervjuguide

	JO	SCA
Begreppet flexibilitet		
	Vad innebär flexibilitet i virkestransporter på järnväg? Ranking:	Vad innebär flexibilitet i virkestransporter på järnväg? Ranking:
1		
2		
3		
Arbetsätt		
Arbetsätt tågplanering	Hur gör ni tågplaneringen för SCAs tågtransporter?	Hur gör ni er tågplanering?
Arbetsätt för ändringar i tågplanering	Hur gör ni ändringar i liggande tågplanering?	Hur gör ni ändringar i liggande tågplanering?
Möjligheter och Begränsningar		
Möjligheter per: - Vecka - Månad - Kvartal - År	Vilken flexibilitet finns?	Vilken flexibilitet finns?
Begränsningar per: - Vecka - Månad - Kvartal - År	Vad begränsar flexibiliteten?	Vad begränsar flexibiliteten?
Säsongsmönster		
Tågavvikelser: tillgång och efterfrågan	(Diagram) Hur skulle ni vilja producera under året?	(Diagram) Hur skulle ni vilja att tågen producerar under året?
Tågavvikelser: lokproblem och förarbrist	(Diagram) Hur skulle ni vilja producera under året?	(Diagram)
Vägen vidare		
Vad kan motparten göra..?	...för att ge bättre förutsättningar att klara tågplanerna? ...för ökad flexibilitet?	...för att ge bättre förutsättningar att klara tågplanerna? ...för ökad flexibilitet?
Vad kan ni göra...?	...för att ge bättre förutsättningar att klara tågplanerna? ...för ökad flexibilitet?	...för att ge bättre förutsättningar att klara tågplanerna? ...för ökad flexibilitet?
Kostnader		
Kostnadsdrivare för flexibilitet per: - Vecka - Månad - Kvartal - År	Vilka kostnader ökar med flexibilitet per tidshorisont? Vart ser du besparingspotential i järnvägstransporterna (relation SCA-JO)?	Vilka kostnader ökar med flexibilitet per tidshorisont? Vart ser du besparingspotential i era järnvägstransporter?

Bilaga 4 – Funktioner i Woodflow

Funktioner som användes i indata till Woodflow	
Namn:	Funktion:
function_definitions	Kostnadsfunktioner för olika transportslag, sträckor och tågrelationer
assortment_group_map	De sortiment som ingår i optimeringen
assortment_functions	Kartlägger sortiment till olika kostnadsfunktioner och transportslag
supply	Tillgängliga volymer per sortiment, period, och tillgångsnod (grid 10x10km)
demand	Efterfrågad volym per sortiment, period och mottagare
delivery_limits	Max- och min-gräns för volym mellan olika noder (tillgång-mottagare)
alla_noder	Alla tillgångsnoder
alla_mottagare	Alla mottagarnoder (violkoder)
terminals	Anger vilka noder som är virkesterminaler
initial_inventory	Ingående lager för terminalerna i P1
timeperiods	Id för perioder (P1, P2, P3, P4)
inventory_group_limits	Lagerbegränsningar för olika tillgångsnoder olika perioder (användes för att tömma väglager hos alla tillgångsnoder efter varje period)
nodes	Koordinater för noder som ej har violkod
route_functions	Id för varje tågrelation terminal-mottagare, kopplas till kostnadsfunktion i function_definitions
route_assortment_limits	Max- och min-gräns för tågflöden per period, sortiment för varje tågrelation (terminal-mottagare)
route_links	Definierar tågrelationerna och anger varje terminals lastningskapacitet och mottagarens lossningskapacitet, samt transportsträcka för varje relation