



Effekten av dual-mode lokomotiv på transportkostnad för försörjningsystem med ofullständig elektrifiering – en kartläggning av Norgependeln

*The effect of dual-mode locomotives on transport cost for supply chains
with incomplete electrification*

Sixten Walheim

Examensarbete • 30 hp

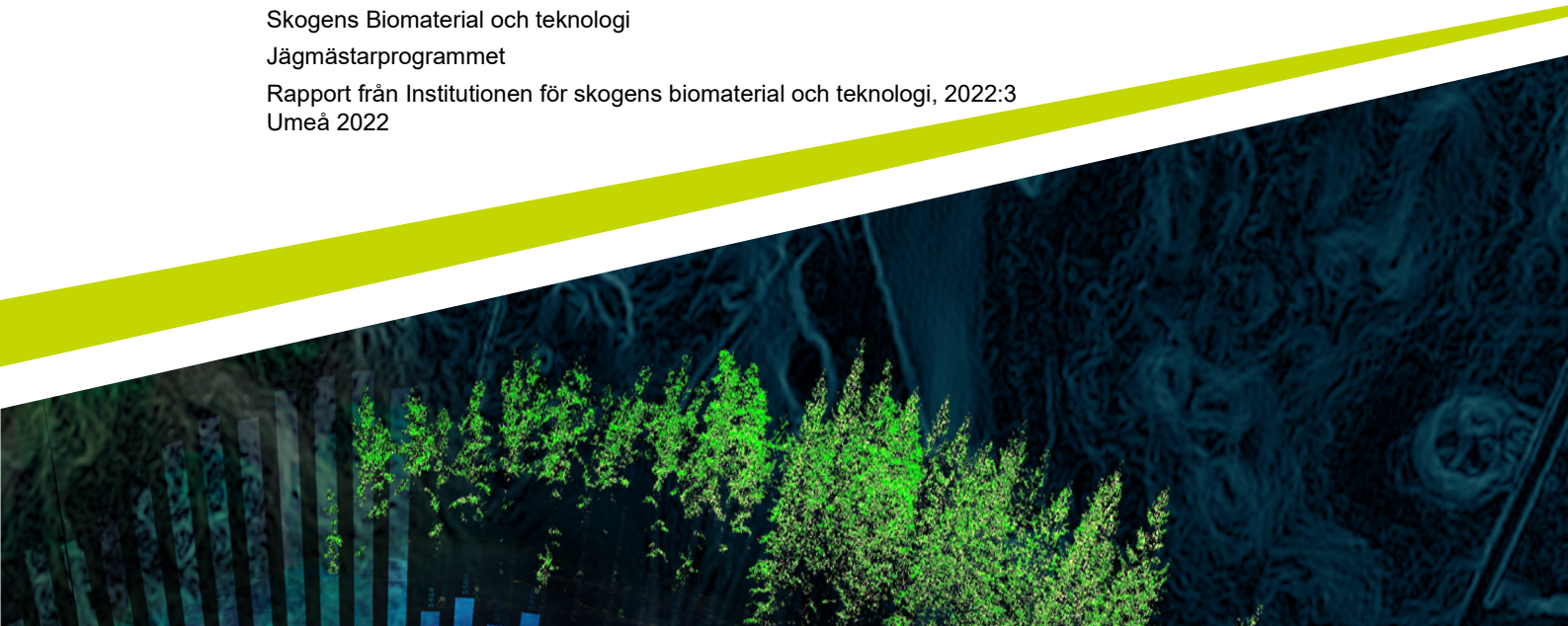
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Skogens Biomaterial och teknologi

Jägmästarprogrammet

Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, 2022:3

Umeå 2022



Effekten av dual-mode lokomotiv på transportkostnad för försörjningsystem med ofullständig elektrifiering – en kartläggning av Norgependeln

The effect of dual-mode locomotives on transport cost for supply chains with incomplete electrification

Författarens namn

Handledare: Dag Fjeld, Sveriges lantbruksuniversitet, Skogens Biomaterial & Teknologi
Examinator: Dimitris Athanassiadis, Sveriges lantbruksuniversitet, Skogens Biomaterial & Teknologi

Omfattning: 30 hp
Nivå och fördjupning: A2E
Kurstitel: Masterarbete i skogsvetenskap, A2E - Skogens biomaterial och teknologi
Kurskod: EX0956
Program/utbildning: Jägmästarprogrammet
Kursansvarig inst.: Thomas Kronholm

Utgivningsort: Umeå
Utgivningsår: 2022
Serietitel: Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi
Delnummer i serien: 2022:3

Nyckelord: järnvägstransporter, rundvirkestransporter, Norgependeln, elektrifieringsgrad, systemtåg

Sveriges lantbruksuniversitet
Skogsfakulteten
Skogens Biomaterial & Teknologi

Sammanfattning

Av Sveriges totala rundvirkestransporter sker ca 20 % av transportarbetet på järnväg med målet om att öka. Något som hindrar en ökning av järnvägstransporter förutom konkurrens från lastbil, är avsaknaden av fullständig elektrifiering. Detta innebär att en systemlösning kräver två lokomotivtyper samt lokbyte undervägs, med försämrad effektivitet som följd. Ett alternativ vore att använda last-mile lokomotiv som har en sekundär driftkälla. Dock är effekten på dessa låg och loket klarar endast av att förflytta tåget kortare sträckor. Däremot skulle dual-mode lokomotiv med högre effekt, klara av kontinuerlig drift genom sträckor där elektrifiering saknas.

Syftet med studien var att jämföra transportkostnaden för nuvarande tågdragnings vilken innebär en kombination el- och diesellokomotiv, med ett framtida scenario där dual-mode lokomotiv används. Detta analyserades med olika energipriser.

Studien utfördes på Stora Ensos Norgependeln som saknar fullständig elektrifiering. Två scenarion togs fram för beräkning av transportkostnaden med nuvarande tågdragnings samt med dual-mode lokomotiv. Den totala transportkostnaden delades upp på infrastrukturkostnader varav el- och dieselkostnad, utrustningskostnad samt arbetskostnad. Utöver detta gjordes känslighetsanalyser för att jämföra olika kostnadsfaktorerens påverkan på respektive scenario och tågdragnings.

Resultatet visar att den totala transportkostnaden per år för dual-mode lokomotivet var 3,7 % lägre i scenario 1 samt 4,3 % i scenario 2 jämfört med nuvarande tågdragnings. Besparingen sjunker till 3,1 och 3,6 % vid lägre energipriser och 4,1 % och 4,8 % vid högre energipriser. Känslighetsanalyser visar att kostnaderna är marginellt högre för dual-mode lokomotivet vid ökat stillestånd. Resultatet visar också att implementeringen av dual-mode alternativet reducerar andelen dieseldrift med 10–15 %.

Nyckelord: järnvägstransporter, rundvirkestransporter, Norgependeln, elektrifieringsgrad, systemtåg

Abstract

Of Sweden's total roundwood transports, about 20% of the performance is made on railroad with the aim of increasing. One thing that impede an increase in rail transport, apart from competition from trucks, is the lack of complete electrification. This means a solution where two types of locomotives and change of locomotive is required. An alternative would be to use last-mile locomotives that have a secondary operating source. However, the effect on these is low and it can only move the train for shorter distances. On the other hand, a dual-mode locomotive which have higher power would be able to operate continuously through sections with incomplete electrification.

The purpose of the study is to compare the transport cost for current solution, which means a combination of electric and diesel locomotives, with a future scenario where dual-mode locomotives are used. This is analysed with different energy prices.

The study was performed on Stora Enso's Norgependeln with incomplete electrification. Two scenarios were shaped for calculation of the transport cost for the current train and the dual-mode locomotive. The total transport cost was separated into infrastructure costs, of which electricity- and diesel costs, equipment costs and labour costs. In addition to this, sensitivity analyses were performed to compare the impact of different cost factors on the scenario and solution.

The results show that the total transport cost per year for the dual-mode locomotive was 3.7 % lower in scenario 1 and 4.3 % in scenario 2 compared with the current solution. Savings fall to 3.1 and 3.6 % at lower energy prices and 4.1 % and 4.8 % at higher energy prices. Sensitivity analysis show that the costs are marginally higher for the dual-mode locomotive at increased downtime. The results also show that the implementation of the dual-mode alternative also reduces the share of diesel operation by 10–15 %.

Keywords: railroad transport, roundwood transportation, Norgependeln, electrification, unit train

Förord

Denna studie gjordes som ett examensarbete på jägmästarprogrammet vid Sveriges lantbruksuniversitet i Umeå. Studien utfördes tillsammans med Stora Enso AB och Trätåg AB med syftet att analysera dual-mode lokomotivets påverkan på transportkostnad. Jag vill tacka min handledare Dag Fjeld som bidragit med stöd och expertis under studiens gång. Särskilt tack också till värdföretagen som bidragit med intressanta infallsvinklar och som kom med idén vilket gjorde detta lärorika examensarbete möjligt.

Uppsala, mars 2022

Sixten Walheim

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	10
Figurförteckning.....	12
1. Inledning.....	14
1.1. Järnvägens konkurrensförmåga	14
1.2. Systemtransporter	15
1.3. Tågdragnig	16
1.4. Tidigare studier.....	17
1.4.1. Tidigare studier av tågdragnig	17
1.4.2. Beräkning av transportkostnader för järnväg.....	18
2. Syfte.....	19
3. Material och metod.....	20
3.1. Introduktion av Norgependeln	20
3.2. Data	21
3.2.1. Förutsatta variabler	21
3.2.2. Förutsatta kostnader	23
3.3. Tillvägagångssätt.....	24
3.3.1. Beräkningar.....	27
4. Resultat.....	34
4.1. Transportkostnad.....	34
4.2. Jämförelse av transportkostnad	36
4.3. Transportkostnad beroende på andel dieseldrift.....	38
4.4. Känslighetsanalyser	39
4.4.1. Utvalda kostnadsfaktorer	39
4.4.2. Energipris.....	40
4.4.3. Emissionsavgift.....	41
4.4.4. Stillestånd	42
5. Diskussion.....	43
5.1. Utvärdering av resultat	43
5.2. Styrkor och svagheter med studien.....	45

5.3. Framtida studier.....	46
5.4. Slutsatser.....	47
6. Referenser.....	48
Tack	50
Bilaga 1.....	51

Tabellförteckning

Tabell 1. Grundläggande transportbehov uttryckt i antal vagnar per tåg, från respektive terminal till industri. Konsolidering till heltåg i Vestmo samt i Kongsvinger från respektive terminal.	22
Tabell 2. Förutsättningar för lokomotiv och vagnar som studien bygger på.....	23
Tabell 3. Beskrivning av förutsatta kostnadsfaktorer. Tabellen visar de kostnader som använts vid beräkningar av total transportkostnad i denna studie.	24
Tabell 4. Beskrivning av studiens utformning. I studien ingick två scenarion med olika rutter mellan Sørli och industri, i övrigt är hela systemet upplagt enligt nuvarande trafikering. Tabellen visar andelen tågakilometer som kan trafikeras med el respektive diesel i procent.	26
Tabell 5. Beskrivning av de ekvationer som användes för att beräkna förutsättningar och kostnader som i sin tur behövs för att beräkna total transportkostnad per år inklusive av- och pålastning.	31
Tabell 6. Total transportkostnad per år (tusentals kronor). Transportkostnaden är uppdelad på tre delkostnader, total transportkostnad samt kronor per ton för respektive scenario och tågdragning. Tågdragningskostnader fördelas även på el- respektive dieselkostnad. ”El och diesel” beskriver den nuvarande tågdragning som används.	35
Tabell 7. I tabellen visas kostnadsbesparing med dual-mode lokomotivet jämfört nuvarande tågdragning uttryckt i tusentals kronor och procent.....	37
Tabell 8. Känslighetsanalys-energipris. Tabellen visar kostnadsbesparing (%) med dual-mode lokomotiv beroende på el- och dieselpris för båda scenarierna. Den övre delen i tabellen visar scenario 1 och den nedre visar scenario 2. Fetmarkering indikerar procentuell besparing i total transportkostnad per år med dagens el- och dieselpriser.....	40
Tabell 9. Känslighetsanalys-Emissionsavgiftens påverkan på total transportkostnad per ton för respektive scenario och tågdragning. Avgift för emission baseras på 2017 års prissättning 3,20kr/liter. ”El och diesel” beskriver den nuvarande tågdragning som används.....	41
Tabell 10. Känslighetsanalys-stillestånd. Tabellen visar extra tid vid industri- samt extra vagnars påverkan på total transportkostnad per ton för respektive scenario och tågdragning. ”El och diesel” beskriver den nuvarande tågdragning som används.	42

Figurförteckning

- Figur 1. Karta över Norgependeln. Pilarna i figuren visar två olika alternativa rutter mellan Sørli och industri. Scenario 1 går söderut och scenario 2 går norrut från terminalen.....25
- Figur 2. Figuren visar total transportkostnad per år uttryckt i kr/ton beroende på andel tågkilometer av nätverket som trafikeras med diesel. ”El och diesel” beskriver den nuvarande tågdragning som används.38
- Figur 3. Känslighetsanalys-utvalda kostnadsfaktorer. Figuren visar effekten på transportkostnad med en 10 procentig ökning av sex olika kostnadsfaktorer för respektive scenario och tågdragning. Negativa staplar betyder minskad total transportkostnad och positiva staplar betyder ökad total transportkostnad per år. ”El och diesel” beskriver den nuvarande tågdragning som används.39

1. Inledning

Virkestransporter står för en stor andel av de årliga transporterna i Sverige. Enligt Trafikanalys (2015) stod rundvirke för ungefär 13 % av den totala mängden transporterat gods mätt i ton år 2012. Kartläggningen av skogens transporter visar att andelen rundvirke transporterat på järnväg ökat över tid. År 2014 stod rundvirke för ungefär 11 % av den transporterade volymen på järnväg. Av alla rundvirkestransporter sker ca 20 % av transportarbetet på järnväg. Den huvudsakliga mängden transporteras på lastbil, detta rent naturligt då virket först måste transporteras ut från skogen för att övriga transportslag ska bli tillgängliga. Lastbilstransporter ingår på så sätt i transportkedjor även där andra trafikslag används, detta gör betydelsen av lastbil ännu större.

Majoriteten av alla rundvirkestransporter på järnväg i Sverige sker på elektrifierad järnväg med vissa undantag. Idag är ca 78 % av det svenska järnvägsnätet elektrifierat (Trafikverket 2021). Därför drivs majoriteten av alla svenska tåg elektriskt. Även om elektrifiering skett på de flesta järnvägar, finns det sträckor och spår vid på- och avlastning inne på terminaler samt vid mottagare som är ännu inte elektrifierade (Skoglund et al. 2008). Detta kan innebära problem då det krävs två olika loktyper för att trafikera en sträcka eller hantera tåg vid terminaler. Problematiken med vissa delsträckor kan vara att den till början är elektrifierad och sedan icke elektrifierad för att sedan återigen övergå till elektrifiering. Detta innebär att ett byte till diesellok måste ske och att detta vanligtvis endast sker en gång vilket i sin tur leder till att elektrifierade sträckor måste trafikeras med fel loktyp då järnvägen återigen byter driftkälla.

1.1. Järnvägens konkurrensförmåga

En allt högre prispress inom transportsektorn ger effekter som påverkar sektorn på flera sätt. Prispressen beror bland annat på att lastbilstransporter av gods de senaste 30 åren blivit konkurrenskraftigare gentemot järnväg och sjöfart. Detta gäller såväl på längre avstånd som på större transporterade volymer där andra transportmedel tidigare varit överlägset konkurrenskraftigast. I samma takt som att lastbilstransporter blir mer konkurrenskraftiga, sjunker marknadspriset på

transporter över lag, vilket resulterat i en prispress på samtliga transportmedel. Prispress, delvis påverkad av den fria arbetsmarknaden inom EU, gör att lönsamheten för operatörer försämrats och möjligheten till att investera i utveckling av verksamheten begränsats. Utländsk arbetskraft och stora skillnader i framförallt lönekostnader mellan länder, skapar denna prispress (Kordnejad & Nelldal 2020).

I takt med lastbilens konkurrensförmåga, menar Kordnejad & Nelldal (2020) att kostnader för järnvägstransporter ökat senaste åren. Det är främst högre banavgifter som gjort att transportkostnaden ökat. Sedan 2009 har banavgifterna blivit ungefär tre gånger så höga vilket inneburit att de totala transportkostnaderna för godstransporter på järnväg i genomsnitt ökat med 16 %. Detta utöver lågpristransporterna med lastbil som ökat kraftigt. På grund av de höga banavgifterna och minskad konkurrensförmåga har ekonomiska incitament i form av en retroaktiv klimatkompensation införts, vilket gett en reducering av kostnaderna på omkring 7 % för järnvägstransporter (Kordnejad & Nelldal 2020).

Kordnejad och Nelldal (2020) anger en rad åtgärder för att öka järnvägens konkurrensförmåga. Att slopa avgifter på järnväg i kombination med ökade avgifter på lastbilstransporter skulle öka järnvägens förmåga att konkurrera. Även andra åtgärder som längre tåg, lastvikt per vagn eller andra specifika åtgärder kan ge god effekt menar författarna.

1.2. Systemtransporter

När det kommer till godstransporter såsom rundvirke, sker dessa ofta i form av systemtransporter. Om godsflödet är tillräckligt stort och vid konstanta flöden lämpar sig denna form av transporter. Vid systemtransporter på järnväg dras oftast vagnar från en gemensam utgångspunkt till en gemensam destination för att sedan återgå till utgångspunkten. Vagnar bör konsolideras vid en terminal till heltåg för att sedan hålla ihop genom hela transportkedjan. Dessa så kallade heltåg bidrar till en högre utnyttjandegrad och således kan godstrafiken på järnväg utnyttja sin låga undervägs kostnad. Systemtransporter kräver förutom konstanta flöden och heltåg, vagnar med hög fyllnadsgrad och snabba omlopp för lok och vagnar (Lumsden 2006).

I Sverige finns ett tjugotal större systemtåg där framför allt malm och rundvirke transporteras med utgångspunkt vid tunga industrier och gruvor. (Troche 2009). Rundvirke som transporteras i form av systemtåg har ökat och majoriteten av dessa finns i Mellansverige där Stora Enso står för störst andel (Trafikanalys 2015).

1.3. Tågdragning

Även vissa systemtåg är ofullständigt elektrifierade vilket innebär att ett byte mellan el- och diesellokomotiv måste ske någonstans i systemet. Byte av lokomotiv innebär extra tid och således lägre medelhastighet på transportsträckan. Utöver tid, krävs flera lokomotiv och lokförare längs sträckan när driftkällan varierar. Detta är något som begränsar järnvägs konkurrensförmåga och effektivitet (Skogsindustrierna 2022).

Val av tågdragning, det vill säga lokomotiv, kan påverka problematiken kring ofullständig elektrifiering. Alternativ tågdragning till den lösning som används idag på systemlösningar med ofullständig elektrifiering finns idag på marknaden.

Loktillverkaren Bombardier, har tagit fram ellokomotiv av modellen TRAXX utrustade med en mindre dieselmotor eller ett batteri (Railpool GmbH 2022). Dessa lokomotiv kallas ofta för last-mile eller hybridlokomotiv. Lokomotivet klarar av att operera inne på bangårdar och terminaler som saknar elektrifiering. Med hjälp av en dieselmotor kan lokomotivet operera upp till åtta timmar utan kontaktledning men med mycket begränsad effekt. Effekten med elektricitet går upp till 5600 kW vilket kan jämföras med dieselmotorns effekt på 230 kW (Railpool GmbH 2022). Dessa lokomotiv har inte kapacitet nog för att köra längre sträckor och på så sätt ersätta diesellokomotiven helt och hållet på längre avstånd.

Det finns dock fler typer av lokomotiv som kombinerar el- och dieseldrift på andra sätt. Bland annat har loktillverkaren Stadler utvecklat ett dual-mode lokomotiv av modellen Euro Dual (Stadler 2021). Lokomotivet är ett kraftigt elektriskt och dieselektriskt lokomotiv som kan trafikera längre sträckor oberoende på elektrifieringsgrad. Effekten vid eldrift är över 6000 kW vilket matchar ellokomotiv i samma klass. Lokomotivets effekt vid dieseldrift är knappt 3000 kW, vilket också matchar diesellokomotiv i samma klass (Stadler 2021).

Loket är ett dual-mode lokomotiv som kan drivas på antingen elektricitet eller diesel beroende på sträckans driftkälla. Dessa dual-mode lokomotiv finns i flera former där den vanligaste typen består av ett dieselektriskt lok utrustat med en strömvtagare som fälls upp för kontakt med kontaktledning där elektrifiering finns (Skoglund et al. 2008). På samma sätt används dieseldrift där elektrifiering saknas. Detta innebär en kontinuerlig drift över både elektrifierade och oelektrifierade sträckningar utan behov av lokbyte. Andra fördelar med att operera med dual-mode lokomotiv kan vara att reducera onödigt buller och utsläppen kan minska (Skoglund et al. 2008).

Som tidigare nämnts, behöver järnvägstransporter bli mer konkurrenskraftiga för att kunna möta konkurrensen från lastbilstransporter. En anledning till att öka andelen järnvägstransporter är regeringens mål om en ökad andel transport på järnväg i Sverige (Näringsdepartementet 2018). Ett steg i att öka andelen järnvägstransporter skulle kunna vara införandet av dual-mode lokomotiv på systemlösningar där elektricitet delvis saknas. Målet om ökad andel järnvägstransporter är en del i regeringens beslut om att fram till år 2030 minska utsläppen från transportsektorn med 70 % (Näringsdepartementet 2018). Det är därför av intresse att både öka järnvägens konkurrensförmåga och att fasa ut dieseldrivna lokomotiv. Med hjälp av dual-mode lokomotiv är båda dessa aspekter möjliga att påverka. Dels på grund av uteslutning av lokbyte, dels att rätt drift alltid kan användas på rätt ställe.

1.4. Tidigare studier

Järnvägstransporter är ett utbrett forskningsområde där optimering, resursstyrning och effektivisering är välstuderat. Studier på rundvirkestransporter finns, men är ofta begränsat till flödesplanering och optimering av system. Dock har bland annat Saranen & Hilmola (2007) studerat transportslaget och -avståndets påverkan på transportkostnad. Studien visar att tågtransporter generellt är kostnadseffektivt vid längre transportavstånd och således lastbil vid kortare transportavstånd.

Detta får stöd av Tahvanainen & Anttila (2011) som menar att lastbil är effektivast vid transportavstånd kortare än 60 km och tåg blir mer effektivt kring 150 km. Studien visar att transportkostnaden för lastbil ungefär är den samma som för järnväg vid 100 km respektive 250km. Medeltransportavståndet för rundvirke på lastbil i Sverige är omkring 90 km och på järnväg 250 km (Trafikanalys 2015).

Andra studier på området berör optimering av resursstyrning och utveckling av optimeringsmodeller så som Edlund (2014), vars studier bygger på en vidareutveckling av tidigare optimeringsmodeller, från början framtaget av Örtendahl (2001). Studierna med syfte att analysera och optimera virkesflöden från skogen till industri, visade på stor förbättringspotential vid maximering av ekonomiskt netto. En optimering av virkesflöden kan innebära en ökning av nettot med flera procent.

1.4.1. Tidigare studier av tågdragnings

Studier gjorda på lokomotivet och val av tågdragnings visar på att effektivisering och minskade utsläpp är möjligt. Bland annat har Bark & Skoglund (2008) studerat systemtåg där lokbyte krävts och jämfört dessa mot andra tågdragningsalternativ.

Dessa studier berör kortare delsträckor snarare än hela systemlösningar. Vidare studier från Bark (2017) visar effekten av last-mile lokomotiv på kortare sträckor där en kombination av el- och diesellokomotiv tidigare varit nödvändig. Resultaten visar att utsläppen kan halveras på en 30 kilometer lång transportsträcka och att operera med dessa loktyper innebär en mer flexibel drift. Behovet av dieseldrift minskade då lokomotivet kunde utnyttja elektricitet där det fanns.

Samtliga av dessa studier som nämnts ovan baseras på någon form av hybridlokomotiv. De hybridlok som tidigare studerats har en huvudsaklig driftkälla samt en sekundär källa vars kapacitet är begränsad i effekt (Bark & Skoglund 2008). Batteridrift där kontaktledning saknas innebär miljöfördelar, ökad effektivitet och minskad tåghantering. Dessa lokomotiv har dock visat sig betydligt mer kostsamma jämfört med befintlig tågdragnings, trots att terminal- och växellok inte behövs i samma utsträckning (Bark & Skoglund 2008). Andra alternativ har varit genomrullning. Med det menas att strömvagnen fälls ned innan ankomst till terminal och tåget rullar genom icke elektrifierade spår. Tåget bromsar sedan in för att få kontakt med ledningen där elektrifiering återigen börjar. Detta gör att hanteringen av vagnar och hela tåg minskar och blir mer effektivt. Samtidigt fungerar detta endast på kortare sträckor inne på terminaler och måste ske varsamt för att inte riskera att loket stannar där elektrifiering saknas (Mustonen 2015).

1.4.2. Beräkning av transportkostnader för järnväg

Kostnaderna för rundvirkestransport på järnväg består av fasta och rörliga kostnader. Bland dessa finns det huvudsakligen tre grupper av kostnader: utrustningskostnader, infrastrukturkostnader och arbetskostnader. Dessa tre grupper består sedan av ytterligare delkostnader. Under gruppen utrustningskostnader finns kostnader för lokomotiv och vagnar. Infrastrukturkostnader innebär alla kostnader kopplade till spårdragnings vilket är infrastrukturrelaterade kostnader samt energikostnader i form av el- och dieselkostnader. Den tredje gruppen består av kostnaden för lokförarlöner.

Fjeld & Väätäinen, et al. (2021) har skapat ett enkelt ramverk för rundvirkestransporter på järnväg. Ramverket kan användas vid beräkning av fasta och rörliga kostnader per timme, kilometer och bruttotonkilometer. Känslighetsanalyser visar att ”wagon payload” påverkar den totala transportkostnaden mest. Analysen visar att hur mycket faktiskt virke som lastas per vagn har störst påverkan på transportkostnaden. Andra faktorer som påverkar transportkostnaden är antalet vagnar och vändor. Ytterligare kostnader som påverkar transportkostnader är emissions-, diesel- och elkostnader.

2. Syfte

Studiens syfte var att jämföra den totala transportkostnaden per år på ett välkänt systemtåg med ofullständig elektrifiering. I studien jämförs nuvarande tågdragning vilket innebär en kombination av el- och diesellokomotiv, med ett framtida scenario där dual-mode lokomotiv används. Jämförelsen sker med avseende på årlig total transportkostnad uppdelat på infrastrukturkostnader, utrustningskostnader och arbetskostnader. Utöver detta var syftet att analysera transportkostnadens påverkan av el- och dieselpolis samt emissionsavgift och stillestånd vid industri. Jämförelsen bygger på tekniska förutsättningarna för dual-mode lokomotiv samt i vilken grad dessa möjliggör effektivisering av systemlösningen.

3. Material och metod

Under detta kapitel introduceras studien, vilket material som använts och steg för steg beskrivs tillvägagångssättet. Det första avsnitt består huvudsakligen av en beskrivning av Norgependeln. Vidare beskrivs vilket material som används och sedan tillvägagångssättet vid beräkning av transportkostnader.

3.1. Introduktion av Norgependeln

Stora Ensos, Norgependeln är ett systemtåg som utgår ifrån två stora industrier i Värmland, Stora Ensos Skoghall bruk och Gruvön. Skoghalls bruk söder om Karlstad producerar kartong för konsumentförpackningar och andra produkter med tryckbehov för såväl vätskeförpackningar som torrvaror (Stora Enso AB 2021). Till Skoghall transporteras på Norgependeln, barmassaved och granmassaved. Den andra industrin, Gruvön, ägs och drivs av Billerud Korsnäs AB vars råmaterial transporteras på Norgependeln i form av barmassaved och lövmassaved.

På Norgependeln transporteras årligen ca 1 500 000 m³ rundvirke. Systemet sträcker sig nordväst från Värmland över på norska sidan och passerar sju virkesterminaler som är aktuella i detta arbete. Systemet är delvis elektrifierad och delvis inte, vilket gör att ett byte mellan lokomotivtyp måste ske. För karta över nätverkssystemet se bilaga 1.

Trafikeringen av Norgependeln kan brytas ned i flera led. En av flera viktiga aktörer är Trätåg AB som sköter stora delar av planeringen av virkestransporterna åt Stora Enso. Trätåg AB ska vara ett icke vinstdrivande företag som finns till för att stödja ägarna, varav en är Stora Enso. Trätåg sköter terminaler och anlitar en underentreprenör för driften, i detta fall Hector rail AB vilka utför själva transporten av virkesråvaran.

Den senaste utveckling med dual-mode lokomotiv skulle göra det möjligt med kontinuerlig transport genom sträckningar där elektrifiering upphör. Eftersom systemet är välkänt, har hög trafikering där stora volymer rundvirke transporteras, är det intressant att utreda hur transportkostnaden påverkas av att trafikera

nätverkssystemet med dual-mode lokomotiv. För att bibehålla järnvägens viktiga konkurrensförmåga för dessa industrier är det av stort intresse att utveckla och förbättra dess förmåga. Samtidigt gör avsaknaden av studier på dual-mode lokomotiv i hela systemtåg att intresset får anses som stort.

Idén om studien kom från Trätåg AB, Stora Enso samt handledare som tillsammans tog fram ett förslag på utformning av en studie. För att kunna evaluera dual-mode lokomotivets påverkan på transportkostnad på ett rättvist sätt, kartlades och beräknades transportkostnad även för nuvarande tågdragning. Löpande konsultation fördes med värdföretagen under hela studiens utförande.

Studien begränsas på så sätt att värdföretagens intresse speglar tillvägagångssätt och resultatet. Syftet med studien utgår ifrån deras önskemål och vidare studier och analyser utöver det, lämnas därhän.

3.2. Data

Materialet till denna studie kom från Trätåg AB, Trafikverket samt Norges motsvarighet Banenor. Värden som ingår i studiens förutsättningar, är specifikt för Norgependeln vilket innebär att värdena endast går att applicera på studier på just det systemtåget. Studien berör hela systemtåget där varje enskild sträckning kartlades för att sedan summeras och presenteras i form av total transportkostnad per år för hela systemet. Tanken var att metoden skulle utföras på så sätt att resultatet i sin tur kan användas vid analyser på andra systemtåg. Därför beskrivs förutsatta variabler och kostnader tydligt på så sätt att de ska kunna bytas ut.

Arbetet började med att analysera hur systemet trafikeras idag och sedan hur det skulle kunna se ut med ett dual-mode lokomotiv. Idag ingår fem enskilda terminaler, varav två större knytpunkter i systemet, samt två industrier vilket är verkets slutdestination (Bilaga 1). Varje år planerar Trätåg AB hur mycket rundvirke som behövs från Norgependeln. Det läggs en grundläggande tågplan som visar tågens avgångar och ankomster samt hur mycket rundvirke som behövs. I materialet från Trätåg AB ingick en preliminär tågplan inklusive antal avgångar, transportvolymer och vagnantal.

3.2.1. Förutsatta variabler

Det grundläggande transportbehovet per år från respektive terminal till industri gavs av Trätåg AB. Materialet var en viktig förutsättning för att kunna beräkna den totala transportkostnaden per år. Materialet utgick ifrån den generella planering som Trätåg AB angett vilket som tidigare beskrivits. Begränsningar i lokomotivets

och järnvägens kapacitet samt regleringar påverkar hur många, tunga och långa tåg som fick trafikera systemet (Banenor 2020). Detta varierade beroende på sträcka. På grund av dessa begränsningar körs halvtåg från terminal för att sedan konsolidera till heltåg på 26 vagnar vid terminalen i Vestmo samt i Kongsvinger. Tabell 1 visar behovet av antal vagnar för respektive terminal samt antal tåg som trafikerar varje vecka och totalt på ett år.

Tabell 1. Grundläggande transportbehov uttryckt i antal vagnar per tåg, från respektive terminal till industri. Konsolidering sker till heltåg i Vestmo samt i Kongsvinger från respektive terminal. Från Vestmo avgår även två tåg i veckan utöver konsolideringarna från övriga terminaler.

Table 1. Basic transport need in number of wagons per train, from each terminal to industry. Consolidation to full trains in Vestmo and in Kongsvinger from each terminal.

Terminal	Antal vagnar (per vecka)
Vestmo totalt	132
- Vestmo	2x26
- Koppang	2x16+2x10
- Kvam	1x14+ 1x12
- Hovemoen	4x14+4x12
Kongsvinger totalt	103
- Follum	5x21+5x5
- Sørli	6x13+6x13
Summa:	520 per vecka
	27 040 per år

Industrins behov av rundvirke varierar och därför också volymen transporterat rundvirke på Norgependeln. För att undvika komplexitet och problematiken av ett varierat flöde, fastslogs det tillsammans med handledare och värdföretagen att ingen modifiering skulle utföras efter industrins varierande behov under året.

Valet av lokomotiv för beräkningar i studien gjordes i konsultation med Trätåg AB. Valet föll på de lokomotiv el- och diesellokomotiv som används i systemet idag samt ett dual-mode lokomotiv valt av Trätåg AB. Ellokomotivet som användes i studien var BR-161 och diesellokomotivet T-66. Vagnarna som användes i studien var SGNSS vilka även också används i dagens system. För mer information om lokomotiv och vagnar, se förslagsvis jarnvag.net.

Dual-mode lokomotivet som användes var Stadler Euro Dual (Stadler 2021). För förenkling av jämförelse av total transportkostnad per år antogs samma medelhastighet och modell på vagnar till respektive tåg. Förutsättningar beskrivs i tabell 2.

Tabell 2. Förutsättningar för lokomotiv och vagnar som studien bygger på.
Table 2. The variables for each locomotive and wagons the study is based on.

	Ellok	Diesellok	Dual-mode lok	Vagnar	
Modell	BR-161	T-66	Stadler Euro Dual	SGNSS	
Vikt tom (ton)	132	126	124	Vikt tom (ton)	23
Effekt (kW)	5400	2238	El 7000; Diesel 2800	Vikt lastad (ton)	84
Medelhastighet (km/h)	65	55	El: 65; Diesel: 55		

3.2.2. Förutsatta kostnader

För att utföra studien fastslogs förutsatta kostnadsfaktorer i konsultering med värd företag och handledare. Dessa kostnader anpassades till dagens prissättning enligt Trafikverket och Banenor samt i konsultation med Trätåg AB (tabell 3). I tabellen syns vilka kostnader som behövdes för att beräkna transportkostnaden för systemet. Hur dessa användes beskrivs vidare i metoddelen under avsnittet beräkningar.

De kostnader som redovisas i studien delades upp på utrustnings-, infrastrukturs- och arbetskostnader. Under dessa kostnader kategoriserades en rad delkostnader relaterade till respektive uppdelning. Samtliga kostnader är nödvändiga för att kunna beräkna total transportkostnad på järnväg. För att undvika upprepning, görs en grundligare genomgång av respektive kostnads betydelse under metoddelen avsnitt: beräkningar.

Tabell 3. Beskrivning av förutsatta kostnadsfaktorer. Tabellen visar de kostnader som använts vid beräkningar av total transportkostnad i denna studie (Tågkm= tågkilometer, Brtonkm=bruttotonkilometer).

Table 3. Description of the costs used in this study for calculation of total transport cost per year.

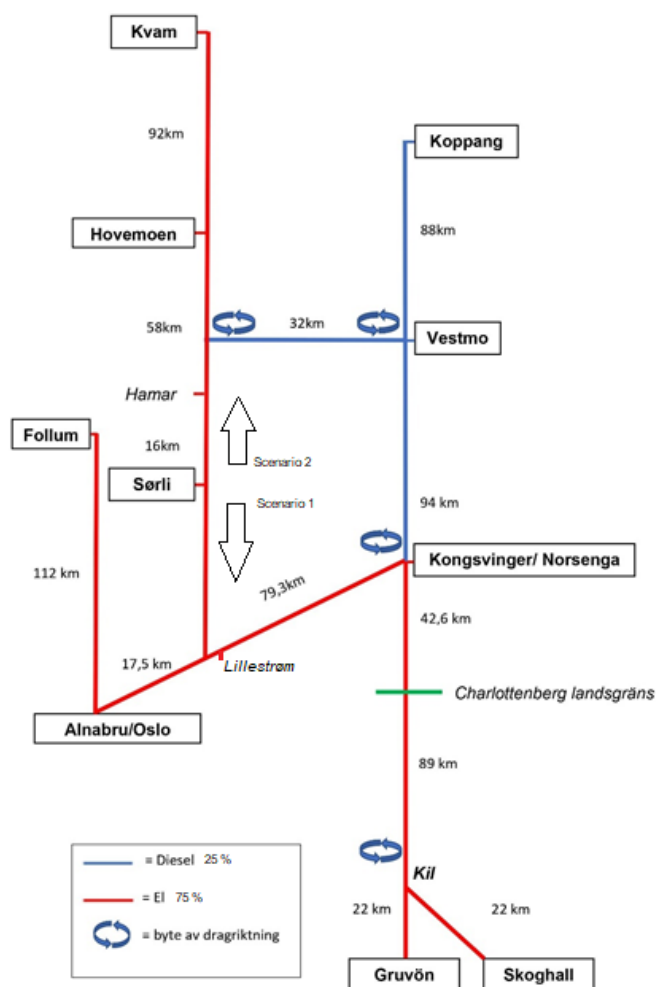
Omkostnad	Kostnad	Enhet
Utrusning		
Diesellokomotiv	12 500	Kr/dygn
Ellokomotiv	16 900	Kr/dygn
Dual-mode lokomotiv	20 000	Kr/dygn
Vagnar	120 000	Kr/år
Infrastruktur		
Olycksavgift	0,88	Kr/tågkm
Spåravgift	0,0045	Kr/Brtonkm
Tåglägesavgift		
- Låg	0,2	Kr/tågkm
- Medel	0,60	Kr/tågkm
- Hög	4,29	Kr/tågkm
Driftavgift	0,18	Kr/tågkm
Dieselpris		
- Låg	5,71	Kr/liter
- Idag	10,38	Kr/liter
- Hög	15,05	Kr/liter
Elpris		
- Låg	0,49	Kr/kWh
- Idag	0,89	Kr/kWh
- Hög	1,29	Kr/kWh
Emissionsavgift	3,20	Kr/liter
Terminalkostnad	22	Kr/tågankomst
Arbete		
Lönekostnad	800	Kr/h
Utnyttjandegrad	90	%

3.3. Tillvägagångssätt

Med stöd av systemtågets givna förutsättningar från Trätåg AB, kartlades det hur systemet ser ut idag och hur det skulle kunna opereras annorlunda. Det togs fram två scenarier eftersom systemet kunde trafikeras olika från en av terminalerna. Idag finns två alternativa rutter mellan terminalen i Sørli och industrierna i Sverige. Den ena ruten är fullständigt elektrifierad och går söderut från terminalen i Sørli till

Kongsvinger via Lillestrøm vidare ner till industrierna i Sverige (figur 1). Den andra rutten är inte fullständigt elektrifierad och går från terminalen i Sørli norrut via Hamar, Vestmo och Kongsvinger vidare till industrierna i Sverige (Figur 1).

Till övriga terminaler lades rutterna på samma sätt i båda scenarierna. Samtliga terminaler nord och nordväst om Sørli går via Kongsvinger norrut förbi Vestmo. För att nå terminalerna norrut från Kongsvinger, sker där ett lokbyte till diesellokomotiv för nuvarande tågdragning. Tågen till terminalen i Follum kördes på elektrifierad järnväg västerut från Kongsvinger enligt figur 1. Inget lokbyte är nödvändigt för denna terminal eller för att nå Sørli enligt scenario 1.



Figur 1. Karta över Norgependeln. Pilarna i figuren visar två olika alternativa rutter mellan Sørli och industri. Scenario 1 går söderut och scenario 2 går norrut från terminalen. Figuren visar även andelen av järnvägen som är elektrifierad respektive saknar elektrifiering.

Figure 1. Map of Norgependeln. The arrow in the figure points out two different routes from Sørli to the mills. Scenario 1 goes south and scenario 2 goes north from the terminal. The figure also shows the proportion of electrified- and non-electrified railway.

För att sedan jämföra den totala transportkostnaden för systemet, analyserades två alternativ av tågdragnings. Transportkostnad beräknades först för trafikering med el- och diesellokomotiv som är den nuvarande tågdragnings. Total transportkostnad per år beräknades för båda scenarierna. Proceduren upprepades för dual-mode lokomotivet där total transportkostnad beräknades också för på båda scenarierna.

Scenarierna var upplagda på så sätt att trafikeringen endast skilde sig åt till och från terminalen i Sørli. Tabell 4 visar skillnaden i andel el- respektive dieseldrift som kunde användas i hela systemet. I scenario 1 var det möjligt att trafikera med större andel elektricitet då transporterna till Sørli går söderut på elektrifierad järnväg enligt tidigare beskrivning. Eftersom ett lokbyte måste ske i Kongsvinger vid nuvarande tågdragnings, blir andelen potentiell eldrift lägre. För dual-mode lokomotivet som kan byta driftkälla, undviks detta och den potentiella andelen eldrift blev således högre.

Tabell 4. Beskrivning av studiens utformning. I studien ingick två scenarion med olika rutter mellan Sørli och industri, i övrigt är hela systemet upplagt enligt nuvarande trafikering. Tabellen visar andelen tågakilometer som är möjlig att trafikeras med el respektive diesel i procent för respektive tågdragnings.

Table 4. Description of the two scenarios in this study. The table describes the different routes from Sørli in the scenarios. The table shows the percentage of train kilometres which is possible to be operated with electricity and diesel for each locomotive solution.

	Varav el	Varav diesel	Tågdragnings
Scenario 1	64 %	36 %	El & diesel
	74 %	26 %	Dual-mode
Scenario 2	56 %	44 %	El & diesel
	67 %	33 %	Dual-mode

Utöver att beräkna total transportkostnad per år, gjordes ett antal känslighetsanalyser för att studera hur varje scenario respektive tågdragnings påverkades av olika kostnadsförändringar. Det gjordes en mer fördjupad analys av el- och dieselpriset, emissionsavgift samt hur stillestånd vid industri påverkade den totala transportkostnaden.

Den första känslighetsanalysen gjordes på sex utvalda kostnadsfaktorer för att visa hur dessa påverkade den totala transportkostnaden. Analysen gjordes på så sätt att ett antal utvalda faktorer enskilt höjdes med 10 % för att sedan jämföra den totala transportkostnaden mot den ursprungliga totala transportkostnaden. Detta gjordes med inspiration av ramverket från Fjeld & Väätäinen, et al. (2021) på varje scenario och tågdragnings.

Den känslighetsanalys som gjordes på el- respektive dieselpolis utfördes eftersom dessa faktorer ansågs kunna påverka transportkostnaden för respektive scenario och tågdragnin på olika sätt. Den totala transportkostnaden beräknades först baserat på Trätåg AB:s el- och dieselpolis för januari 2022. Ett lågt och högt el- och dieselpolis togs fram, vilka baserades på företagens föregående års lägre pris och prognoser för ett framtida högre pris (European Commission et al. 2016). I känslighetsanalysen justerades priset $\pm 45\%$ från dagens pris vilket representerar förra årets priser i januari (långt) och i samråd med värdföretagen ett pris för 2030 (høgt). För prissättning se tabell 3.

Emissionsavgiften för dieseldrivna järnvägsfordon har tagits bort. Detta är något som dock skulle kunna införas igen och därför är det av intresse att studera dess påverkan på den totala transportkostnaden. Den totala transportkostnaden per år med emissionsavgift jämfördes mot utan avgift. Avgiften var 3,20kr/l (tabell 3) och är från 2017 (Trafikverket 2017).

Utöver detta gjordes en känslighetsanalys på hur stillestånd påverkar den totala transportkostnaden, utfördes på efterfrågan av värdföretagen. Det antogs ett scenario med fem timmars stillestånd för varje ankomst vid industri samt behovet av extra vagnset. Detta gjordes för att analysera känsligheten för försening för respektive scenario och typ av tågdragnin.

3.3.1. Beräkningar

Under detta avsnitt beskrivs det vilka beräkningar som gjordes för att ta fram totala transportkostnader i systemet. Beräkningarna utgick ifrån det förslag på ett gemensamt ramverk för kostnadsberäkningar framtaget av Fjeld & Väätäinen, et al. (2021). Ramverket användes för de beräkningar som var relevanta i detta arbete. Det gällde framför allt beräkning av det nuvarande systemet med el- och diesellokomotiv. Beräkningarna utfördes i Excel.

Beräkningar av transportkostnad gjordes i tre huvudsakliga steg med stöd av ramverkets föreslagna struktur: 1) transportvolym och kartläggning av cykler, 2) årliga förutsättningar för tågdragnin 3) årliga fasta och rörliga kostnader. Tågplan och fördelning av transportvolymerna innebär endast specificering och kartläggning, då materialet från Trätåg AB redan innefattade preliminär tågplan och behov av transportvolymerna. Samtliga ekvationer tillhörande respektive kostnadsberäkning finns i tabell 5. Samtliga kostnader beräknades på årlig basis och sammanslogs till en total transportkostnad per år.

Steg 1-transportvolym och kartläggning av cykler

Steg ett innebar att specificera den årliga transporterade totalvolymen från varje terminal till industri. Dessa volymer fördelades på respektive terminal enligt den grundläggande tågplan som Trätåg AB bidragit med. Systemtåget kartlades för ökad förståelse om systemtåget.

Vid beräkning av transportkostnader används ofta enheter som ton, tonkm etc. Det gäller såväl lastförmåga på tågvagnar, som transporterade vikter. Därför behövdes de virkesvolymer som skulle transporteras, konverteras till ton. En utmaning med detta var den varierande densiteten i virket och vilka sortiment som skulle transporteras. Detta kan variera kraftigt beroende på vart virket kommer ifrån, vilken årstid det är och hur länge virket legat sedan avverkning. Detta påverkar vagnarnas lastförmåga där störst inverkan på hur mycket som kan lastas är antalet buntar per vagn och hur virket lastats (Løfsgaard 2018).

De tågvagnar som används i detta arbete, SGNSS, har en potentiell lastförmåga om ca 67 ton/vagn men på grund av ovan nämnda parametrar blir sällan fastvolymen hög nog att fullständig lastförmåga kan utnyttjas. Lastprofilen på dessa vagnar var: bredd 3,2 m, höjd 2,6 m och längd 19,6 m. Enligt Trätåg AB, utgår de vid grundläggande planering från att ca 61 ton/vagn kan lastas. Omvandlingsfaktorn från kubikmeter blir enligt valet av ton ungefär 0,9, vilket får stöd från Andersson & Frisk (2012) och Løfsgaard (2018).

Steg 2-förutsättningar för tågdragning

Det andra steget innebar att beräkna förutsättningar för tågdragning som i sin tur krävdes för kostnadsberäkningar. Beskrivningen i tabell 5 visar hur förutsättningar för tågdragning beräknades för en cykel till och från respektive terminal. Dessa beräkningar gjordes för varje terminal och tillhörande transportvolym i systemet för att sedan användas vid efterföljande kostnadsberäkning. Förutsättningar för tågdragning beräknades enskilt för respektive terminal. Grundförutsättningarna som antal tåg per terminal, antal vagnar, och avstånd utgick ifrån den tidigare nämnda, grundläggande planen av Trätåg AB. Med dessa förutsättningar, beräknades tågvikter, tågakilometer, tonkilometer, hastighet och cykeltid. Dessa förutsättningar användes sedan för vidare beräkning av transportkostnader.

Det första som beräknades var tågviikt (ekvation 1). Tågvikten angavs i ton för ett lastat respektive tomt tågset inklusive lokomotiv. Tågvikterna var relevanta för att beräkna bruttotonkilometer (ekvation 3) som i sin tur behövs för att beräkna infrastrukturrelaterade kostnader varav el- och spårkostnader. Bruttotonkilometer (brtKm) används för att koppla ihop den mängd gods som transporteras på järnväg, med sträckan som det transporteras. Bruttotonkilometer av ett tåg beräknas genom

att multiplicera tågets vikt (ton) inklusive last med sträckan som tåget framförts (kilometer).

Antalet tågkilometer (tågKm) beräknades enligt ekvation 2 för varje cykel. Tågkilometer beskriver ett tåg som framförts en kilometer. Dessa förutsättningar var nödvändiga för att beräkna dieselkostnader, tåglägesavgifter, olycksavgift och driftavgifter. Dessa kostnader beskrivs i ekvation 5.

Cykeltid (timmar) beräknades och användes vid arbetskostnadsberäkning, löner. Detta användes också för att beräkna behovet av antal lok och beräkning av kostnad för lokomotiv (ekvation 8). Cykeltid beräknades enligt ekvation 4 i tabell 5. En cykeltid innefattar den tid i timmar det tar för ett tåg att köra från en industri till en terminal och tillbaka till industrin.

Steg 3-beräkning av fasta och rörliga kostnader

Kostnadsberäkningarna delades upp i tre fasta och rörliga delkostnader: infrastrukturkostnader, utrustningskostnader och arbetskostnader. Beräkningarna byggde på förutsättningarna i föregående steg och syns i tabell 5.

Infrastrukturkostnader

Först beräknades tågdragningskostnaderna som berör infrastrukturellerade avgifter samt el- och dieselkostnader. Infrastrukturkostnader bestod av fem delkostnader (ekvation 5). Priset för varje delkostnad var givna av Trätåg AB samt uppdaterade med hjälp av Network statement (Banenor 2020) enligt tabell 3. Eftersom Norgependeln sträcker sig över två länder med olika avgifter, var utgångspunkten att använda Trätåg AB:s uppgifter som sedan tidigare var beräknade generellt för hela systemet. Infrastrukturkostnaderna är diverse avgifter för trafikering av järnväg. Dessa avgifter tas ut av Trafikverket respektive Banenor, ansvariga för järnvägens infrastruktur i Norge. Dessa kostnader står för reglering och underhåll av järnvägar. För beräkning av tåglägesavgiften som varierar beroende på sträckans beläggningsgrad, angavs prissättning beroende på sträckans beläggningsgrad enligt tabell 3.

Utöver dessa infrastrukturkostnader beräknades också el- och dieselkostnader. El- och dieselkostnader beräknades med dagens priser (januari 2022). Energikostnaderna beräknades genom att först multiplicera förbrukningen per bruttotonkilometer med priset per kWh för elkostnad. Kostnad för diesel beräknades genom att multiplicera förbrukningen per tågkilometer med priset per liter diesel. Sedan multiplicerades detta med det totala antalet bruttotonkilometer respektive tågkilometer som används. Dessa prisgrundade siffror finns i tabell 3.

Utrustningskostnader

Utrustningskostnader berör kostnader för utrustning, i det här fallet lokomotiv och vagnar (ekvation 6 och 7).

Utgångspunkten var att använda tillvägagångssättet som tidigare nämnts Fjeld & Väätäinen, et al. (2021) men då ramverket inte innefattar beräkning av kostnader för dual-mode lokomotiv fick detta estimeras enligt förutsatta omkostnader (tabell 3) med hjälp av värdföretagen. Beräkningarna gjordes med stöd av ramverket men med uppskrivna kostnader då dual-mode lokomotiv generellt är dyrare i både kapitalkostnad och underhåll på grund av en mer komplex utformning (Skoglund et al. 2008). Beräkningen av dual-mode lokomotivets omkostnader fick stöd av Trätåg AB som med hjälp av underentreprenörer, beräknat en dygnshyra.

Arbetskostnader

Med arbetskostnader menas i detta arbete, löner för lokförare. Till beräkning av dessa kostnader användes cykeltid (timmar) som beräknades enligt ekvation 4 i tabell 5. Kostnaden för löner beräknades enligt ekvation 8 och är effektiv tidjusterat efter utnyttjandegrad. En utnyttjandegrad fastslogs enligt ramverket från Fjeld & Väätäinen, et al. (2021) och timkostnaden uppdaterades efter rådande lönenivå 800 kr, i samråd med värdföretagen. Vid beräkning av dual-mode lokomotivets cykeltid utslöts lokbytestid. För nuvarande spårdragning inkluderades lokbytestid på en timme i samråd med värdföretag samt med stöd av Bark (2017).

För att sedan beräkna total transportkostnad per år summerades samtliga delkostnader. För att beräkna transportkostnad per ton, dividerades den totala transportkostnaden per år med totalt transporterade ton rundvirke.

Tabell 5. Beskrivning av de ekvationer som användes för att beräkna förutsättningar och kostnader som i sin tur behövs för att beräkna total transportkostnad per år inklusive av- och pålastning.

Table 5. Description of equations needed to calculate the conditions for train routing and costs which is needed to be able to calculate the total transport cost per year with unloading and loading included.

Parameter	Ekvation	
Förutsättningar för tågdragnig		
Tågvtikt per tåg (ton)	$Tågvtikt_{tom} = lokvtikt + (antal\ vagnar \times vagnvtikt_{tom})$ $Tågvtikt_{lastad} = lokvtikt + (antal\ vagnar \times vagnvtikt_{lastad})$ $Lastvtikt = antal\ vagnar \times 61\ t$	1
Tågakilometer (tågakm)	$= antal\ cykler_{terminal} \times /år * avstånd_{terminal} \times$	2
Bruttotonkilometer (Brtkm)	$= antal\ cykler_{terminal} \times /år \left(\frac{Tågvtikt_{tom} + Tågvtikt_{lastad}}{2} \right) * avstånd_{terminal} \times$	3
Cykeltid (timmar)	$= (försening_{industri} + \left(\frac{avstånd_{till\ terminal}}{hastighet} \right) + lastningstid * antal\ vagnar) + (försening_{terminal} + \left(\frac{avstånd_{till\ industri}}{hastighet} \right) + avlastningstid * antal\ vagnar)$	4
	<p><i>Lasting: 15 min per vagn</i></p> <p><i>Avlastning: 10 min per vagn</i></p>	

Tabell 5. Forts...

Infrastrukturkostnader

5

Olycksavgift = $0,88 * tågKm_{\text{år}}$
(Kr/år)

Spåravgift (Kr/år) = $0,0045 * brtKm_{\text{år}}$

Tåglägesavgift = $0,2; 0,6; 4,29 * tågKm_{\text{år}}$
(Kr/år)

Driftavgift (Kr/år) = $0,18 * tågKm_{\text{år}}$

Terminalkostnader = $22 * \text{antal ankomser}_{\text{terminal } x/\text{år}}$
(Kr/år)

Där värdena i varje ekvation står för den prissättning enligt tabell 3.

Energikostnader

Elkostnad (Kr/år) = $(0,021 * 0,89) * brtKm_{\text{år}}$

Dieselskostnad = $(4,5 * 10,38) * tågKm_{\text{år}}$
(Kr/år)

Där värdena står för energiförbrukning och prissättning enligt tabell 3

Tabell 5. Forts...

Utrustningskostnader		
Årlig lokkostnad (Kr/år)	$\text{Årskostnad}_{lok\ x} = \text{årligt räntekostnad}_{lok\ x/\text{år}} + \text{avskrivning}_{lok\ x/\text{år}} + \text{underhåll}_{lok\ x/\text{år}}$ $= r \left(\frac{(\text{investeringskostnad} + \text{restvärdesats}(\text{investeringskostnad}))}{2} \right) + \left(\frac{(\text{investeringskostnad} - \text{restvärdesats}(\text{investeringskostnad}))}{\text{livslängd}} \right) + \text{underhåll}$	6
Årlig vagnkostnad (Kr/år)	$\text{Årskostnad}_{vagn} = \text{årlig räntekostnad}_{vagn/\text{år}} + \text{avskrivning}_{vagn/\text{år}} + \text{uderhåll}_{vagn/\text{år}}$ $= r \left(\frac{(\text{investeringskostnad} + \text{restvärdesats}(\text{kapitalkostnad}))}{2} \right) + \left(\frac{(\text{kapitalvärde} - \text{restvärdesats}(\text{kapitalkostnad}))}{\text{livslängd}} \right) + \text{underhåll}$ <p>Där $r = 10\%$ Restvärdesats: 5%</p>	7
Arbetskostnader		
Lönekostnad (Kr/år)	$= \text{Timkostnad} * \left(\frac{\text{cykeltid}_{terminal\ x} * \text{antal cykler}_{terminal\ x/\text{år}}}{\text{utnyttjadsgrad}} \right)$ <p>Utnyttjande grad: 90%</p>	8

4. Resultat

Resultatet i denna rapport presenteras i form av total transportkostnad per år för scenario 1 och 2 med respektive tågdragning. Total transportkostnad presenteras totalt per år och kronor per ton. Resultatet innehåller också delkostnader uppdelat på infrastrukturkostnader varav el- och dieselskostnad, utrustningskostnader och arbetskostnad för respektive scenario och tågdragning. I resultatet presenteras en figur som visar total transportkostnad per år och ton beroende på andel av nätverket som trafikeras med diesel.

Resultatet redovisas också i form av en jämförelse mellan dual-mode lokomotivet och nuvarande tågdragning. Utöver detta presenteras ett antal känslighetsanalyser för att visa hur olika kostnadsfaktorer påverkar den totala transportkostnaden per år. Detta gjordes för respektive scenario och tågdragning.

4.1. Transportkostnad

Resultatet för transportkostnad per år visas i tabell 6. Resultatet visar att i både scenario 1 och 2 var den totala transportkostnaden per år lägre med dual-mode lokomotivet. I scenario 1 var transportkostnaden 66,42 kr/ton för nuvarande tågdragning och 63,96 kr/ton för dual-mode lokomotivet. I scenario 2 var transportkostnaden 69,97 kr/ton för nuvarande tågdragning och 66,41 kr/ton med dual-mode lokomotivet.

Resultatet visar att el- och dieselskostnader stod för en stor andel av den totala infrastrukturkostnaden. I scenario 1 var kostnaden för elektricitet högre än för diesel medan i scenario 2 är dieselskostnaden högst. I båda scenarierna var elkostnaderna högre och dieselskostnaderna lägre med dual-mode lokomotivet jämfört med nuvarande tågdragning. Tabell 6 visar att utrustningskostnaden var den delkostnad som stod för högst andel av den totala transportkostnaden. Utrustningskostnaden för nuvarande tågdragning var samma i båda scenarierna. För dual-mode lokomotivet var utrustningskostnaden marginellt högre i scenario 1. Arbetskostnaderna var lägre med dual-mode lokomotivet i båda scenarierna (tabell 6).

Tabell 6. Total transportkostnad per år (tusentals kronor). Transportkostnaden är uppdelad på tre delkostnader, total transportkostnad samt kronor per ton för respektive scenario och tågdragningslösning. Tågdragningskostnader fördelas även på el- respektive dieselskostnad. ”El och diesel” beskriver den nuvarande tågdragningslösning som används.

Table 6. Total transport cost per year (thousands of Swedish crowns). The transport cost is divided into three categories of costs, total transport cost and cost per ton transported for each scenario and locomotive-solution.

	Tågdragningslösning	Infrastrukturkostnader	Varav elkostnad	Varav dieselskostnad	Utrustningskostnad	Arbetskostnad	Totalt	Kr/ton
Scenario 1	El & Diesel	36 000	15 381	13 507	42 407	29 040	107 483	66,42
	Dual-mode	33 371	16 429	10 208	42 095	28 006	103 509	63,96
Scenario 2	El & Diesel	40 166	12 337	20 865	42 407	29 642	112 251	69,37
	Dual-mode	37 405	13 688	16 737	42 056	27 964	107 462	66,41

4.2. Jämförelse av transportkostnad

I tabell 7 presenteras en jämförelse av transportkostnaden vilket redovisas i form av kostnadsbesparing med dual-mode lokomotiv för respektive scenario. Kostnadsbesparingen med dual-mode lokomotiv på total transportkostnad per år var mellan 3,7 och 4,3 %.

Resultatet visar en kostnadsbesparing med dual-mode lokomotiv på samtliga delkostnader utom elkostnad. De positiva värdena i tabell 7, visar att dual-mode lokomotivet var dyrare än nuvarande tågdragnings med avseende på elkostnad. Kostnaderna för el var 7–11 % högre med dual-mode lokomotiv.

Störst kostnadsbesparing med dual-mode lokomotiv fanns under dieselkostnader. Besparingen för dieselkostnader med dual-mode lokomotiv var 20–24 %. Kostnadsbesparingen för de totala infrastrukturkostnaderna var ca 7% med dual-mode lokomotivet.

Skillnaden i utrustningskostnader var marginell mellan dual-mode lokomotivet och nuvarande tågdragnings. Kostnadsbesparingen var under 1 % med dual-mode lokomotivet i båda scenarierna. Det var även en kostnadsbesparing i arbetskostnader med dual-mode lokomotivet på mellan 3,5 och 5,5 %. Sammanfattningsvis var kostnadsbesparingen högre i scenario 2.

Tabell 7. I tabellen visas kostnadsbesparing med dual-mode lokomotivet jämfört nuvarande tågdragnings uttryckt i tusentals kronor och procent.

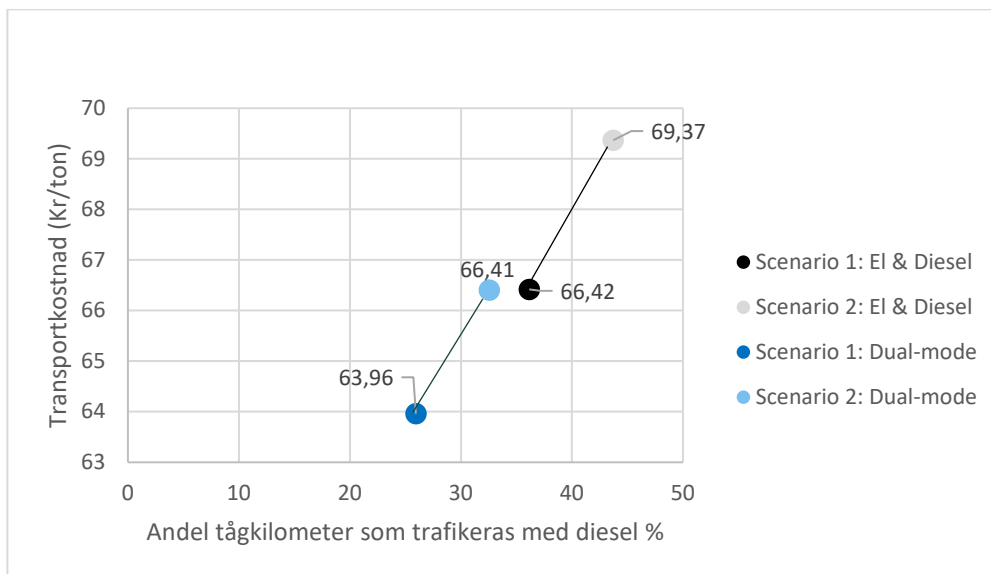
Table 7. Cost reduction with the dual-mode locomotive compared to the current locomotive-solution expressed in thousands of Swedish crowns saved and percentage.

	Infrastrukturkostnader	Varav el	Varav diesel	Utrustningskostnad	Arbetskostnad	Totalt
Scenario 1						
Kostnadsbesparing	-2 629	+ 1047	-3 299	-311	-1 034	-3 975
%	-7,30	+ 6,81	-24,42	-0,73	-3,56	-3,70
Scenario 2						
Kostnadsbesparing	-2 761	+1351	-4 128	-350	-1 678	-4 789
%	-6,87	+10,95	-19,78	-0,83	-5,66	-4,27

4.3. Transportkostnad beroende på andel dieseldrift

Figur 2 visar transportkostnaden beroende på hur stor andel av tågkilometer som trafikerades med diesel. Transportkostnaden per ton var generellt lägre vid låg andel dieseldrift.

I scenario 1 trafikerade dual-mode lokomotivet drygt 25 % av nätverket med diesel och nuvarande tågdragning drygt 35 %. I scenario 2 trafikerades nätverket i högre grad med diesel. Dual-mode lokomotivet använde drygt 30 % dieseldrift och nuvarande tågdragning knappt 45 % dieseldrift i scenario 2. I båda scenarierna var andelen dieseldrift och transportkostnaden per ton lägre med dual-mode lokomotivet.



Figur 2. Figuren visar total transportkostnad per år uttryckt i kr/ton beroende på andel tågkilometer av nätverket som trafikeras med diesel. "El och diesel" beskriver den nuvarande tågdragning som används.

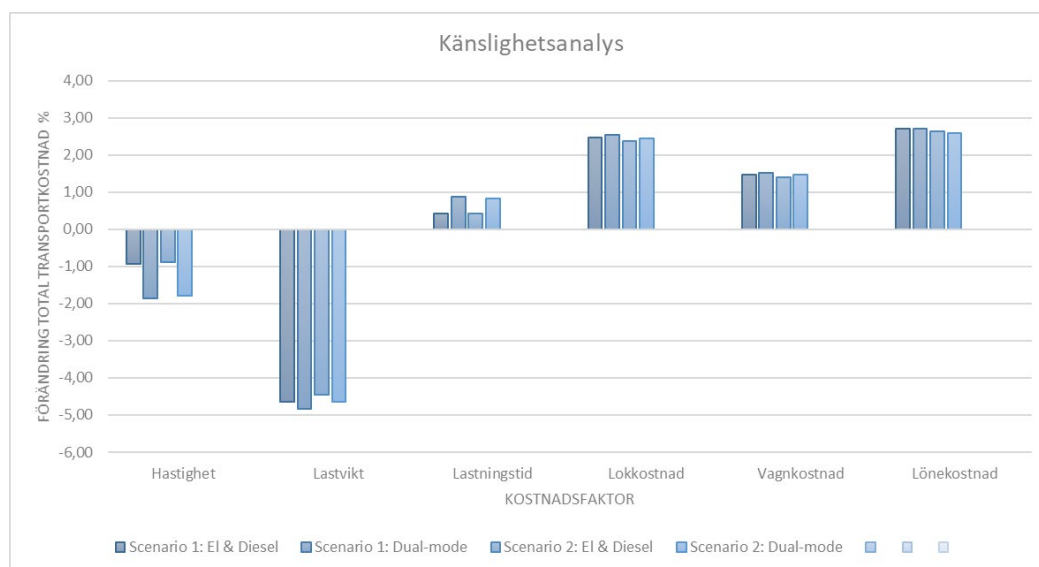
Figure 2. The figure shows the total transport cost per year in cost per ton transported depending on percentage of kilometres that is operated with diesel.

4.4. Känslighetsanalyser

4.4.1. Utvalda kostnadsfaktorer

Känslighetsanalysen i figur 3 visar effekten på total transportkostnad per år vid en höjning med 10 % på sex utvalda kostnadsfaktorer. Figuren visar hur respektive tågdragnings påverkades av denna höjning i båda scenarierna.

Figur 3 visar att lastvikten hade störst påverkan på total transportkostnad per år, därefter lok- och lönekostnad. Ökad lastvikt innebar minskade transportkostnader på knappt 5 % för båda scenarierna och tågdragnings. När kostnadsfaktorerna höjdes, påverkades den totala transportkostnaden för båda scenarierna ungefär lika mycket. Samma sak gällande tågdragnings där resultatet visade att dual-mode lokomotivet och nuvarande tågdragnings inte påverkades olika mycket av en höjning av kostnadsfaktorerna. Hastigheten påverkade dock dual-mode lokomotivet något mer än nuvarande tågdragnings, samma sak med ökad lastningstid. En höjning av lastningstiden var det som påverkade minst, under 1 %, därefter vagnkostnad och hastighet under 2 %. Höjning av hastigheten samt lastvikt innebar en minskning av total transportkostnad. Höjning av resterande kostnadsfaktorer innebar en ökning.



Figur 3. Känslighetsanalys-utvalda kostnadsfaktorer. Figuren visar effekten på transportkostnad med en 10 procentig ökning av sex olika kostnadsfaktorer för respektive scenario och tågdragnings. Negativa staplar betyder minskad total transportkostnad och positiva staplar betyder ökad total transportkostnad per år. ”El och diesel” beskriver den nuvarande tågdragnings som används.
Figure 3. Sensitivity analysis on the total transport cost per year. The figure shows the effect on the total transport cost by a 10 percent increase of six cost factors. Negative shows a reduction and positive, an increase in total transport cost per year.

4.4.2. Energipris

Känslighetsanalysen i tabell 8 utgjorde el- och dieselprisets påverkan på total transportkostnad per år. Tabellerna visar kostnadsbesparingen med dual-mode lokomotiv jämfört med nuvarande tågdragnin där el- och diesellokomotiv används. För att se definierade el- och dieselpriiser se tabell 3.

Resultatet av känslighetsanalysen i tabell 8 visar att kostnadsbesparingen med dual-mode lokomotiv var större i scenario 2 än i scenario 1. Ett högt dieselpreis innebar större kostnadsbesparing med dual-mode lokomotivet i båda scenarierna.

Med dagens energipriser var kostnadsbesparingen med dual-mode lokomotiv 3,7 % i scenario 1 och 4,27 % i scenario 2. Den maximala kostnadsbesparingen var 5,56 % respektive 6,25 % för scenario 1 och 2. Som lägst var kostnadsbesparingen 1,86 % i scenario 1 och 2,14 % i scenario 2 jämfört med nuvarande tågdragnin.

Kostnadsbesparingen var som störst vid en kombination av högt dieselpreis och lågt elpris. Lägst kostnadsbesparing med dual-mode lokomotiv visade sig vara vid lågt dieselpreis och högt elpris.

Tabell 8. Känslighetsanalys-energipris. Tabellen visar kostnadsbesparing (%) med dual-mode lokomotiv beroende på el- och dieselpreis för båda scenarierna. Den övre delen i tabellen visar scenario 1 och den nedre visar scenario 2. Fetmarkering indikerar procentuell besparing i total transportkostnad per år med dagens el- och dieselpriiser.

Table 8. Cost savings (%) with the dual-mode locomotive depending on electricity- and diesel price for both scenarios. The upper part of the table shows scenario 1 and the bottom part scenario 2. Thick label indicates the percentage of saving in total transport cost per year with today's prices.

Scenario 1		Elpris		
		Lågt	Idag	Högt
Dieselpreis	Lågt	-3,14%	-2,46%	-1,86%
	Idag	-4,42%	-3,70%	-3,06%
	Högt	-5,56%	-4,81%	-4,14%
Scenario 2		Elpris		
		Lågt	Idag	Högt
Dieselpreis	Lågt	-3,64%	-2,85%	-2,14%
	Idag	-5,06%	-4,27%	-3,55%
	Högt	-6,25%	-5,47%	-4,75%

4.4.3. Emissionsavgift

Nedan presenteras emissionsavgiftens påverkan på transportkostnad där den totala transportkostnaden idag jämförs med ett scenario där emissionsavgift återinförts.

Känslighetsanalysen i tabell 9 visade att emissionsavgiften påverkade den totala transportkostnaden mer i scenario 2 än scenario 1. Resultatet visade att dual-mode lokomotivets transportkostnad ökade med drygt 3 % i scenario 1 och 4,8 % i scenario 2. Transportkostnaden för den nuvarande tågdragningen påverkades mer än dual-mode lokomotivet. Transportkostnaden för nuvarande tågdragnings ökade med 3,9 % och 5,7 % i scenario 1 respektive 2 vid återinförande av emissionsavgift.

Tabell 9. Känslighetsanalys-Emissionsavgiftens påverkan på total transportkostnad per ton för respektive scenario och tågdragnings. Avgift för emission baseras på 2017 års prissättning 3,20kr/liter. ”El och diesel” beskriver den nuvarande tågdragnings som används.

Table 9. Sensitivity analysis – The impact of the emission fee on total transport cost per ton on each scenario and locomotive-solution. The fee is based on 2017 price of 3,20kr/litre.

	Utan emissionsavgift (kr/ton)	Med emissionsavgift (kr/ton)	Differens (%)
Scenario 1: El & Diesel	66,42	68,99	3,88
Scenario 1: Dual-mode	63,96	65,91	3,04
Scenario 2: El & Diesel	69,37	73,34	5,73
Scenario 2: Dual-mode	66,41	69,59	4,80

4.4.4. Stillestånd

Tabell 10 visar den känslighetsanalys som gjordes på stillestånd. Resultatet visade att fem timmars stillestånd påverkar transportkostnaden per ton med 5 %. Det var marginell skillnad i påverkan på transportkostnad mellan scenario 1 och 2. Det fanns heller ingen större skillnad i påverkan mellan dual-mode lokomotivet och nuvarande tågdragning om än att dual-mode lokomotivet påverkades något mer.

Tabell 10. Känslighetsanalys-stillestånd. Tabellen visar extra tid vid industri- samt extra vagnars påverkan på total transportkostnad per ton för respektive scenario och tågdragning. ”El och diesel” beskriver den nuvarande tågdragning som används.

Table 10. Sensitivity analysis- the table shows the impact on total transport cost per ton with five hours delay at the mill for each scenario and locomotive-solution.

	Utan stillestånd (kr/ton)	Med stillestånd (kr/ton)	Differens (%)
Scenario 1: El & Diesel	66,42	69,91	5,25
Scenario 1: Dual-mode	63,96	67,45	5,45
Scenario 2: El & Diesel	69,37	72,85	5,03
Scenario 2: Dual-mode	66,41	69,89	5,25

5. Diskussion

5.1. Utvärdering av resultat

Det finns en tydlig skillnad mellan en systemlösning med el- och disellokomotiv och med dual-mode lokomotiv. Resultatet visar att kostnadsbesparingarna med dual-mode lokomotiv är 3–4 % vid beräkning med dagens prissättning. Detta beror mestadels på minskade infrastrukturkostnader i form av dieselkostnad och vunnen tiden vid lokbyte vilket gör att drift- och lönekostnaderna går ner. Resultatet visar också att dual-mode lokomotivet kan utnyttja 10–15 % mer eldrift i systemlösningen vilket minskar kostnaderna för diesel.

Trots att dual-mode lokomotivet generellt har högre underhålls- och kapitalkostnad (Skoglund et al. 2008), kompenseras den kostnaden av minskat behov av drifttimmar. Den tid som går åt vid lokbyte för nuvarande tågdragnings, gör att fler lok måste användas för att klara av transportvolymerna. Minskat behov av drifttimmar beror också på att dual-mode lokomotivet använder en större andel eldrift vilket ger högre effekt och således kan tåget köra snabbare.

Resultatet av känslighetsanalysen på de sex utvalda kostnadsfaktorerna får stöd av känslighetsanalysen som gjordes i samband med ramverket för beräkning av transportkostnader på järnväg av Fjeld & Väätäinen, et al. (2021). På samma sätt syns det att lastvikten i denna rapport spelar en avgörande roll vid beräkning av transportkostnad för rundvirkestransporter på järnväg. Detta enskilt gav 5 % lägre total transportkostnad i alla scenarier och oavsett tågdragnings. Detta visar att lastvikten har stor betydelse för hur hög transportkostnaden blir. Detta kan jämföras med att höja hastigheten, vilket påverkade total transportkostnad i mindre skala.

Känslighetsanalyserna på el- och dieselpriset visar att energipriset påverkar den totala transportkostnaden olika mycket för respektive scenario och tågdragnings. Kostnadsbesparingen med dual-mode lokomotiv ligger på mellan 2 och 7 % jämfört med nuvarande tågdragnings. Dieselpriset påverkade kostnadsbesparingen med dual-mode lokomotivet mest, vid högre dieselpris är kostnadsbesparingen högre.

Kostnaderna för dieseldrivna lokomotiv är lägre än de tidigare varit då emissionsavgiften har slopats (Trafikverket 2017). På samma sätt som dieselpriiset, påverkar emissionsavgiften mest där andelen dieseldrift är högst. Dual-mode lokomotivet påverkas därför i mindre omfattning än nuvarande tågdragning med el- och diesellokomotiv.

Utöver de ekonomiska fördelarna finns där andra fördelar med dual-mode lokomotivet. Med nuvarande tågdragning, måste diesellokomotivet trafikera sträckor som är elektrifierade vilket medför onödiga negativa effekter på människa och miljö. Detta problem försvinner då dual-mode lokomotivet kan byta och alltid köra med rätt typ av driftkälla. Detta blir mest aktuellt i de nordvästra delarna av systemet som idag trafikeras med diesellok även där det är elektrifierat. Följderna av dual-mode lokomotivet blir således lägre påverkan på människa och miljö samt billigare drift.

Stilleståndet var en aspekt som värdföretagen var intresserade av. Analyser backades upp av att sådana aspekter inte är helt ovanliga och således av intresse. Ingen större skillnad i påverkan mellan dual-mode lokomotivet och nuvarande tågdragning gör att inga större slutsatser kan dras mer än att de påverkas i likvärdig skala.

Eftersom lokbytestiden utesluts med dual-mode lokomotiv, kortas cykeltiderna och således minskar lönekostnaderna. Detta innebär att dual-mode lokomotivet skulle kunna hinna transportera större volymer för samma lönekostnad. Det är framför allt på vissa delsträckor som detta blir tydligt. Resultatet visar samtidigt att om cykeltiderna kortas med dual-mode lokomotivet skulle det således kunna trafikera längre sträckor på samma tid som nuvarande tågdragning.

Sammanfattningsvis visade resultatet att transportkostnaderna kan minskas med dual-mode lokomotiv, men att andra faktorer kan ha likvärdig effekt. Vid känslighetsanalysen med höjd lastvikt togs ingen hänsyn till vare sig lokens- eller järnvägens kapacitet. Därför kan således inga större slutsatser dras av den jämförelsen. Något som däremot är mer realistiskt är resultatet av energiprisets påverkan på total transportkostnad. Ett förändrat energipris stöds i denna rapport av litteraturen och värdföretagen vilket således gör resultatet mer uppseendeväckande.

5.2. Styrkor och svagheter med studien

Tillgången till data har varit begränsat och ingen anpassning till årstider och industrins efterfrågan gjordes eftersom det skulle göra studien betydligt mer omfattande. Det skulle kunna vara så att val av tågdragnings påverkar transportkostnaden olika mycket beroende på tid på året. För att kunna studera detta skulle betydligt mer omfattande data om varierat virkesflöde behövas.

Att använda rätt värden för alla variabler och kostnader är svårt. Detta eftersom vissa siffror inte går att beräkna exakt. El- och dieselförbrukning är ett exempel på något som varierar helt beroende på hur banprofilen ser ut men också hur stor faktisk last som körs. Även här kan tid på året avgöra lokomotivens energiförbrukning med avseende på väderförhållanden. Vikten på lastat virke kan också variera kraftigt beroende på årstid. Detta eftersom färskt virke väger mer än lagrat samt att snö och isbildning kan påverka. Ingen hänsyn har tagits med avseende på detta utan lokomotivens förbrukning som används kommer direkt ifrån Trätåg AB vars värden är medelvärden de beräknar sina preliminära transportkostnader med.

Mer datainsamling hade med fördel kunnat göras om tid fanns. Exempelvis studier av lokbytestid, faktisk lastvikt och djupare studier av växling och tågens hastighet hade kunnat göra studien mer tillförlitlig. Nu baseras dessa värden på tidigare studier och erfarenheter från värdföretagen och handledare. Att studera hela systemlösningens ledtider är något som inte var möjligt för en person av studier i denna omfattning.

Fortsatt så utgår studien i stora drag från ett och samma ramverk som beskrivs i rapporten. Ingen vidare sökning efter andra metoder gjordes och därför kan det inte uteslutas att andra tillvägagångssätt finns som skulle ge ett annorlunda resultat. Vidare kan man säga att studien var relativt begränsad till värdföretagens intresse och syftet var således efter deras önskemål. En annan infallsvinkel än jämförelse av transportkostnader skulle kunna var ingången till vidare studier, såsom miljöaspekten.

Styrkan i denna studie ligger dock i att denna typ av jämförelse aldrig har gjorts i någon större skala för rundvirkestransporter förr. Därför får denna studie anses som en grund för framtida studier. Något som styrker möjligheten till detta är trots allt att studien mestadels följer ramverket för transportkostnader från Fjeld, Väätäinen, et al. (2021). Det gör det enkelt att för liknande studier i framtiden, följa upp och förstå beräkningsmodeller och tillvägagångssätt i denna studie. Genom att ange alla antagna förutsatta kostnader, är det enkelt att byta ut dessa. Metoden gör denna studie användbar även på andra lokmodeller eller på andra systemlösningar.

Ytterligare en styrka i studien är analysen av energipriset. Det huvudsakliga syftet med analysen av energipriser var den föränderliga prissättningen som skakat marknaden de senaste åren. El- och dieselpriiset har ökat kraftigt det senaste året och prognoser visar på en fortsatt ökning framöver (European Commission et al. 2016). Resultatet ger en bild av hur detta skulle kunna påverka transportkostnaderna i framtiden. Analysen gav en indikation på att besparingarna är som störst framför allt vid höga dieselpriiser och något lägre vid höga elpriser. Detta beror på andelen kilometer som trafikeras med el- respektive dieseldrift. Eftersom dual-mode lokomotivet kan minimera dieseldriften, minskar således dieselkostnaderna och känsligheten för ökade dieselpriiser. Detta, om prognoserna stämmer, ger dual-mode lokomotivet större fördelar vid ett framtida högre dieselpriis.

5.3. Framtida studier

I studiens brister nämns flera delar som vidare studier skulle kunna bygga vidare på. Framtida studier inom området skulle kunna vara att revidera tidtabellen. I detta arbete fanns inte tid att djupare studera påverkan på tågplanens utformning med eventuellt kortade tider och fler cykler per år. Dual-mode lokomotivet påverkar den ursprungliga planen så pass mycket att det skulle vara högst relevant att behöva lägga en helt ny plan med det nya lokomotivet. Dual-mode lokomotivet öppnar upp för att eventuellt kunna transportera större volymer på Norgependeln. Detta måste såklart motsvara industrins efterfrågan och hela värdekedjans förmåga att leverera större virkesvolymer.

Eftersom nuvarande tågdragnin g kräver minst ett el- och ett diesellok för att transportera virke från vissa terminaler, skulle det vara intressant att studera endast en sträckning åt gången snarare än hela systemet. Studier på effekten av dual-mode lokomotiv skulle bli extra intressant på specifika sträckningar. Liknande studier som Bark (2017) analyserar kortare sträckor och systemtåg djupare snarare än hela system vilket innebär en djupare förståelse.

De terminaler som innebär sträckor med ofullständig elektrifiering, såsom Koppang industri, skulle kunna studeras djupare för att få ett mer specifikt resultat. Resultatet i denna studie ger en övergripande bild av effekten av dual-mode lokomotivet. Resultatet kan användas för vidare studier med resultatet från denna studie som utgångspunkt. Eftersom resultatet visar att dual-mode lokomotivet är mer flexibelt skulle det dessutom kunna innebära andra fördelar. Resultatet öppnar upp för att studera hur val av tågdragnin g påverkar möjligheten att tillsätta en terminal eller hur lastbilstransporterna påverkas. En mer flexibel tågdragnin g skulle kunna innebära kortare lastbilstransporter och ökad flexibilitet vid val av terminal. Det är

något som behöver studeras närmare. I detta arbete har det inte studerats hur terminalerna och lastbilstransporterna påverkas av val av tågdragning.

5.4. Slutsatser

Utifrån studiens resultat och tillsammans med tidigare kunskap kan följande slutsatser dras:

- Den totala transportkostnaden per år med dual-mode lokomotivet är mellan 3 och 4 % lägre än med nuvarande tågdragning.
- Kostnadsbesparingen med dual-mode lokomotivet blir högre om tågen kör via Vestmo och Hamar till Sørli som i scenario 2.
- När energipriset stiger blir kostnadsbesparingen med dual-mode lokomotiv högre. Samma sak gäller vid införande av emissionsavgift.
- Vid stillestånd påverkas transportkostnaderna ungefär lika mycket för nuvarande lösning som med dual-mode lokomotiv.
- Resultatet visar att implementeringen av dual-mode alternativet reducerar andel dieseldrift med 10–15 %. Detta ger positiva fördelar ekonomiskt samt ur utsläppssynpunkt.
- Dual-mode lokomotivet är mer effektivt på systemlösningar med ofullständig elektrifiering. Eftersom lokbyte utesluts, kan lokomotivet trafikera systemlösningen med ofullständig elektrifiering kontinuerligt utan stopp.

6. Referenser

- Andersson, G. & Frisk, M. (2012). *Skogsbrukets transporter 2010*. (791–2013). Uppsala: Skogforsk. [2022-01-13]
- Banenor (2020). *Network Statement*. <https://networkstatement.banenor.no/doku.php?id=2020> [2022-01-12]
- Bark, P. (2017). *Future Freight Locomotive for Euorope (FFL4E) – D4.1 – Transport Model*. Europa comissionen;TFK & Trafikverket. <https://cordis.europa.eu/project/id/730823> [2022-01-06]
- Bark, P. & Skoglund, M. (2008). *DUOLOK – Enhetligt dragkraftsystem för godstransporter på elektrifierade huvudlinjer och för terminal- eller växlingstjänst på icke elektrifierade spår-, terminal- och bangårdsområden*. (TFK-rapport, 2008:8). Stockholm.
- European Commission, Directorate-General for Climate Action, Directorate-General for Energy, Directorate-General for Mobility and Transport, Zampara, M., Obersteiner, M., Evangelopoulou, S. & et.al (2016). *EU reference scenario 2016-energy, transport and GHG emissionstrends to 2050*. LU: Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2833/001137> [2022-03-09]
- Fjeld, D., Väätäinen, K. & von Hofsten, Ingeborg Callesen, Andis Lazdins, H. (2021). A common Nordic-Baltic costing framework for road, rail and sea transport of roundwood. (7/8/2021), 32
- Kordnejad, B. & Nelldal, B.-L. (2020). *Hinder och möjligheter för överföring av godstransporter från väg till järnväg*. (TRITA-ABE-RPT-215). Stockholm: TRITA-ABE-RPT-215. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-290798> [2021-10-06]
- Lumsden, K. (2006). *Logistikens grunder*. (Studentlitteratur)
- Løfsgaard, P.A.A. (2018). *Kartlegging av volumvariasjon per vogn for jernbaneleveranse av massevirke via "Norgespendelen"*. (Masterarbete). Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. <http://hdl.handle.net/11250/2564751> [2021-10-13]
- Mustonen, M. (2015). *Genomrullning med ellok på kombiterminaler – Förstudie och demonstration*. (2015:1). Stockholm.
- Näringsdepartementet (2018). *Uppdrag att intensifiera arbetet med att främja intermodala järnvägstransporter - Regeringen.se*. (N2018/04483/TS). Borlänge. <https://www.regeringen.se/regeringsuppdrag/2018/08/uppdrag-att-intensifiera-arbetet-med-att-framja-intermodala-jarnvagstransporter/> [2021-10-06]
- Railpool GmbH (2022). *Railpool Locomotive fleet*. [Railpool.com.de](https://railpool.com.de/loc-fleet-details/). <https://railpool.com.de/loc-fleet-details/> [2022-03-24]
- Skoglund, M., Bark, P. & Östlund, S. (2008). *Dual Mode Locomotives: Systems Study of New Freight Locomotives for Sweden*. <https://doi.org/10.1115/JRC2008-63057>

- Skogsindustrierna (2022). Elektrifiering av tvärbanorna i Norrland. Regeringen. <https://www.regeringen.se/492b71/contentassets/5337b6007b714c0ea7f889018b515e56/skogsindustrierna.pdf>
- Stadler (2021). EuroDual Locomotive. Stadler Rail Group. <https://www.stadlerail.com/en/products/detail-all/eurodual/40/> [2022-03-09]
- Tahvanainen, T. & Anttila, P. (2011). Supply chain cost analysis of long-distance transportation of energy wood in Finland. *Biomass and Bioenergy*, 35 (8), 3360–3375. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.11.014>
- Trafikanalys (2015). *Skogens transporter—en trafikslagsövergripande kartläggning*. (5). Stockholm. <https://www.trafa.se/kommunikationsvanor/varufloden/kartlaggning-av-skogens-transporter-4342/> [2022-03-09]
- Trafikverket (2017). *Trafikverket återbetalar emissionsavgift för arbetsfordon*. Trafikverket. [text]. <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/jarnvag/jarnvagsnatsbeskrivningen-jnb/trafikverket-aterbetalar-emissionsavgift-for-arbetsfordon/> [2022-03-09]
- Trafikverket (2021). *Järnkoll på spåren*. Trafikverket. [text]. <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/jarnvag/jarnkoll--fakta-om-den-svenska-jarnvagen/jarnkoll-pa-sporen/> [2021-10-05]
- Troche, G. (2009). *Activity-based Rail Freight Costing: A Model for Calculating Transport Costs in Different Production Systems*. Railway Group, Division for Transportation & Logistics, Royal Institute of Technology.

Tack

Stort tack till min handledare Dag Fjeld, Olle Pettersson på Trätåg AB och Jörgen Olofsson på Stora Enso för roliga möten och stöd under studiens gång.

Bilaga 1

