

Jon Lofthus Aarsand

Bruk av lokale omlastingsterminaler for godsoverførsel mellom veg og jernbane i region Trøndelag Sør

Forutsetninger for og virkninger av en slik
intermodal løsning

Masteroppgave i bygg- og miljøteknikk

Veileder: Inge Hoff

Medveileder: Kelly Pitera

Juni 2021

Jon Lofthus Aarsand

Bruk av lokale omlastingsterminaler for godsoverførsel mellom veg og jernbane i region Trøndelag Sør

Forutsetninger for og virkninger av en slik intermodal
løsning

Masteroppgave i bygg- og miljøteknikk
Veileder: Inge Hoff
Medveileder: Kelly Pitera
Juni 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Forord

Denne masteroppgaven skrives under emnekode *TBA4945 Transport masteroppgave* våren 2021. Oppgaven teller 30 studiepoeng, og skrives innenfor studieretningen Veg, Transport og Geomatikk, med hovedprofil Transport ved Institutt for bygg- og miljøteknikk.

Oppgaven skrives i samarbeid med Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, *NTNU*, og Trøndelag Sør – Interkommunalt politisk råd, også kalt *Rådet*. Fra NTNUs side har Inge Hoff og Kelly Pitera vært veiledere, mens Mari Løvli Yri, Ola Øie og Isak Busch har vært kontaktpersoner fra Rådets side. Det rettes en stor takk til veilederne og Rådet for et godt samarbeid gjennom masterprosjektet. Alle har vært til god hjelp med å skaffe nødvendige kontaktpersoner og data.

Videre skal det rettes en stor takk til Ali Taheri ved Statens vegvesen for tilgang til Nasjonal godstransportmodell, samt hjelp til bruk av denne både gjennom selv å hjelpe, og gjennom å spørre andre eksperter på Nasjonal godstransportmodell. Det skal også rettes en takk til Tor Nicolaisen fra Jernbanedirektoratet for viktig informasjon om jernbanenettet og godstransport. Trude Tørset fra NTNU takkes for hjelp til å skaffe programvaren CUBE, som er brukergrensesnittet til Nasjonal godstransportmodell. Til slutt takkes alle andre som har kommet med synspunkter, viktige data og svar på ulike spørsmål i forbindelse med gods, veg, jernbane og omlastingsterminaler.



Jon Lofthus Aarsand
09.juni.2021

Sammendrag

Det er forventet en vekst i godstransportarbeid på veg i Norge med 84% i perioden 2018 til 2050. Dette kan bidra til økte eksterne kostnader fra tungtransport på veg i form av forsinkelser, ulykker, støy, slitasje på vegen, klimagassutslipp og lokal forurensing. Det er dermed et politisk mål i Norge å dempe denne veksten ved økt bruk av sjø- og banetransport. Denne masteroppgaven fokuserer på banetransport som del av en intermodal transportkjede, og en slik transport krever omlastingsterminaler mellom veg og bane. I Norge er det imidlertid mangel på omlastingsterminaler i nærheten av godstransportens start- eller slutt punkt, eller ved begge punktene. I tillegg er de eksisterende terminalene ineffektive grunnet deres omlastingsmetoder. En konsekvens av dette er at jernbanens konkurranseevne ofte taper mot veg, slik at transport på veg ofte er foretrukket.

Denne oppgaven skal dermed ta for seg bruk av omlastingsterminaler plassert i distriktene, hvor man forutsetter bruk av horisontal omlasting. Slike terminaler bør kunne sikre økt effektivitet og tilgjengelighet, og muliggjør automatisering av terminal. Oppgaven skrives på en generell måte slik at den ikke tar hensyn til faktisk plassering og antall terminaler som bør bygges i Region Trøndelag sør, som er oppgavens fokusområde. Denne problemstillingen behandler en annen masteroppgave som skrives parallelt med denne, og konkluderer med at en ny terminal på Støren er best egnet. Masteroppgavens hensikt er i hovedsak å finne fordeler en omlastingsterminal plassert i distriktene kan gi, samt hvilke forutsetninger som må oppfylles for at terminalen skal bli brukt av aktører innenfor godstransportsektoren. I tillegg er det gjennomført en godsstrømsanalyse i Nasjonal godstransportmodell hvor det er laget fire scenarier, G_0 , G_1 , G_2 og G_3 for fremtidige godsmengder på veg og bane i Region Trøndelag Sør for årene 2018, 2030 og 2050. Godsmengdene er funnet uavhengig av om det blir bygget en ny terminal i distriktene eller ikke, og baseres på tiltak i vegsektoren. Godsmengdene vil kunne gi en pekepinn på hvilke tiltak som vil kunne styrke eller senke togbanens konkurranseevne mot veg. Veg og baner i oppgavens fokusområde omfatter i hovedsak Dovrebanen, til dels Rørosbanen, samt Rv3 og E6 i gjeldende region.

Scenario G_0 er et basisscenario og viser utviklingen i godsmengder uten tiltak på infrastrukturen. Dette brukes som et grunnlag til sammenlikning av de andre scenariene. Scenario G_1 går ut på at drivstoffprisen for vegtransport økes fra 14,86 kr i 2018 til 19,89 kr i 2030 og holder seg på dette nivået i 2050. Dette resulterer i økt bruk av tog. For scenario G_2 , som går ut på at det bygges ny motorveg på E6 mellom Melhus og Ulsberg og tilhørende bompenger, vil det i 2030 likevel føre til økt bruk av tog i forhold til basisscenariet. I 2050 vil det imidlertid være mindre godstransport på bane sammenliknet med basisscenariet ettersom bompengene antas fjernet til da. Scenario G_3 er en kombinasjon av scenario G_1 og G_2 , altså både ny motorveg og økt drivstoffpris. Bruk av scenario G_3 resulterer i økt togtransport, hvor økningen er størst i 2030, og litt mindre i 2050, sammenliknet med basisscenariet. Det vises at økt drivstoffavgift er et tiltak som gir større endring i godsmengdene på veg og bane enn bygging av motorveg og tilhørende bompenger.

For å finne hvor mye gods som faktisk kan overføres mellom veg og bane ved ny terminal er det gjennom en ekstra godsstrømsanalyse først modellert nye terminaler på Støren og Berkåk i Nasjonal godstransportmodell. Omlastingskostnadene er satt basert på den horisontale omlastingsløsningen Cargo Beamer. I følge modelleringen vil det imidlertid ikke være noe omlasting ved nye terminalene gitt deres omlastingskostnader og plasseringer. En viktig grunn til dette resultatet kan være at det kun var ved én av terminalene på transportetappen på bane at man fikk reduserte omlastingskostnader.

Som følge av at det ikke ble noe godsoverføring fra modelleringen, er er også regnet på et generelt godsoverføringspotensiale, som skal vise hvor mye mer gods Dovrebanen potensielt sett kan romme. Da trengs data på Dovrebanens kapasitet, og i forbindelse med dette ble det laget ulike kapasitetsscenarioer basert på ulike tog lengder, antall avganger og type togsett, samt et basisscenario som

tar utgangspunkt i dagens togruter og -lengder. Deretter er godsoverføringspotensialet regnet ut ved å ta differansen mellom kapasiteten på bane og godsmengdene på bane. Alle kombinasjoner av scenarier for både godsmengder og kapasitet er regnet ut. I stor grad resulterte de fleste kombinasjoner i mangel på kapasitet på bane, noe som medfører at det vil måtte bli mer godstransport på veg enn hva godsmengdescenariene tilsier. Det er imidlertid usikkert i hvor stor grad kapasitetsscenariene stemmer, slik at man ikke sikkert kan si at det ikke finnes et godsoverføringspotensiale fra veg til bane. Dette viser at det er nødvendig med nøyaktige utregninger på kapasiteten på bane. Mangel på et positivt godsoverføringspotensiale sørger for at man ikke kan få dempet veksten i godstransport på veg, uansett hvilken terminal som benyttes.

Viktige forutsetninger for at en ny omlastingsterminal skal være aktuell å bruke er, i tillegg til å være effektiv og helst liten, at det er tilstrekkelig banekapasitet på Dovrebanen for å sikre et tilgjengelig godsoverføringspotensial. Kapasiteten vil i stor grad være avhengig av antall kryssingsspor langs Dovrebanen, grad av automatisering, antall togavganger, fyllingsgrad av lastbærere, utnyttelsesgrad av togsett og lengde på togene. Dersom man øker tog lengden, må man samtidig vurdere hvorvidt lokomotivet kan trekke den økte vekten dette medfører. Man må også bestemme seg for hvilken horisontal omlastingsmetode som skal brukes. Dette er vesentlig for å få kjennskap til hvilke tog som faktisk kan stoppe ved en ny terminal, og dermed hvor mye av kapasiteten på Dovrebanen som faktisk kan utnyttes ved den nye terminalen. Det er også vedtatt å innføre en infrastrukturavgift på jernbane, som kan være veldig svekkende for jernbanens konkurranseevne. Det er ikke regnet på effekten infrastrukturavgiften gir, men litteratur angir at den bør forutsettes fjernet for å kunne øke mengden gods transportert på bane. I tillegg kreves det god samhandling mellom alle leddene i den intermodale transportkjeden for å sikre effektiv omlasting av lastbærere mellom veg og bane. Til slutt bør den nye terminalen være så tilgjengelig som mulig for mest mulig godstransport. Dette betyr at terminalen bør legges ved viktige årer for godstransport. Den nye motorvegen på E6 kan svekke togtransportens konkurranseevne, men også styrke den ved at motorvegen gjør terminalen mer tilgjengelig.

Omlastingsterminaler generelt har den fordelen at de avlaster vegnettet ved å muliggjøre godsoverførsel fra veg til bane, gitt nok banekapasitet. Omlastingsterminaler plassert i Region Trøndelag Sør, har ytterligere fordeler. For det første muliggjør det ytterligere godsoverføring fra veg til bane gitt nok banekapasitet. Videre vil en strategisk plassert terminal kunne gi mer direkte transport for en del godstransport til og fra distriktene, hvor godset slipper å reise via Trondheim for å omlastes. Det er også enklere for nye næringer å etablere seg langs strategiske knutepunkt, noe som denne terminalen vil være. En annen fordel er at dersom godsmengdene funnet i godsstrømsanalysen blir reelle for fremtiden, vil det være manglende terminalkapasitet i Trondheim. Nye terminaler kan dermed bidra med ekstra terminalkapasitet, i tillegg til å avlaste infrastrukturen generelt sett i Trondheim. Nye terminaler i Region Trøndelag Sør vil også kunne erstatte den planlagte godsterminalen på Torgård. Denne forventes å være mye dyrere å bygge enn den typen terminal som utredes i denne masteroppgaven. Til slutt vil de nye terminalene kunne bidra til å etablere gods-sirkler, som er optimaliserte ruter på veg som samsvarer med togavgangene på den nye terminalen. Slike godssirkler kan øke trafikkikkerheten i form av at de samme sjåførene kjører de samme strekningene tilnærmet daglig, noe som gir sjåførene god kjennskap til lokale vegforhold. Dessuten kan godssirklene, som kan gi korte transportetapper på veg, brukes til uttesting av nullutslippskjøretøy.

Å anlegge en terminal på Støren vil gi ytterligere fordeler som at man kan benytte seg av at Rørosbanens har lavere stigninger enn Dovrebanen og at man dermed kan trekke lengre tog på Rørosbanen med tilsvarende type lokomotiv som på Dovrebanen. Dette er en fordel som ikke kan brukes i dag, ettersom stigninger ved Heimdal, hvor alt godset reiser forbi i dag, er større. En plassering på Støren fjerner behovet for at alt gods på bane må reise mot Trondheim. En annen fordel med terminal på Støren er mulig avlastning av Fv700, ettersom godset vil reise via Klett for å komme til den nye terminalen.

Det virker som at en ny lokalt plassert terminal som benytter seg av horisontal omlasting kan gi viktige fordeler innenfor ønsket om økt godstransport på veg. De mulige kapasitetsproblemene på jernbane som må løses og de andre forutsetningene som bør oppfylles gjør at det kreves videre arbeid for å se om det lønner seg å bygge en ny terminal i region Trøndelag Sør, og som gjerne da kan fungere som en pilot for andre slike terminaler i Norge.

Abstract

There is expected an increase in freight transportation on the Norwegian roads in such a manner that a political goal in Norway is to transfer as much freight transport as possible to rail- and sea transportation. The increased road transportation will cause higher external costs like delays, accidents, noise, wear on road and local and global pollution and such a transfer from road to rail transportation will contribute to reduction of the mentioned external costs. This master thesis will look at rail transport as a part of an intermodal transport chain, specifically at the transshipment terminals where the goods are transferred between road and rail. Existing terminals in Norway are often ineffective, due to the method of transshipment and the lack of automation. Furthermore, there are only a few transshipment terminals in Norway, mostly placed in the larger cities. This thesis will therefore focus on building new transshipment terminals that are more effective, and placed in the district of Region Trøndelag Sør. The focus is at what benefits such a terminal will give, and what the prerequisites are for such a terminal to be attractive for freight operators. This report does not state the number and location of the terminals, but only that it will be one or more terminals in the region of Trøndelag Sør. A reason for this is that besides this master thesis, another master thesis is focusing on the correct placement and how many terminals that should be built. In the end, the other thesis conclude that the placement of one new terminal should be in Støren.

Two goods stream analyses were to be performed in order to find the future traffic loads on road and rail and to see how much goods that can be transferred at the new terminal. The analysis is mainly performed in a freight transport modelling programme, called *Nasjonal godstransportmodell*. To ensure effective terminals, it is assumed the usage of horizontal transshipment in the terminal. This is also a prerequisite for building more effective terminals, because horizontal transshipment is when you transfer the goods between two modes of transport without lifting it. The method also allows a higher degree of automation.

The first goods stream analysis is used to estimate the future traffic load, and four scenarios are used to represent results of different measures in the transport sector for the years 2030 and 2050, all based upon same input data for 2018. The first scenario, *G0*, which assumes no changes of the infrastructure will be the basis scenario made for comparing the different measures. The only change in *G0* is the general growth in freight transportation from 2018 to 2050. Scenario *G1* assumes an increased fuel price for road transportation from 14,86 NOK in 2018 to 19,89 NOK in 2030 and 2050. Scenario *G2* assumes a new highway at E6 built from Melhus to Ulsberg. Furthermore there will be introduced a road toll in 2030, but it is expected to be removed within 2050. Scenario *G3* is a combination of the measures in *G1* and *G2*. In general, all measures results in increased usage of train transportation, including after the new highway is built, due largely to the increased costs associated with the road toll. The exception is in 2050, where scenario *G2* results in less train transportation due to better roads and the removal of road tolls. Moreover, introducing higher fuel taxes on road transport seems to be an effective measure to increase rail transportation.

As a part of the second goods stream analysis, *Nasjonal godstransportmodell* was used to find the amount of goods that can be transferred between road and rail at the new terminal. However, this analysis resulted in no transshipment at the new terminal. A reason for that can be that only one of the transshipment terminals of the transport leg on rail got the decreased transshipment price the horizontal transshipment ensures. Because of this, additional calculations were done investigating how much goods one potentially could transfer from road to rail. In the calculations, Dovrebanen and the surrounding roads were used. The potential was calculated by taking the difference between available capacity on Dovrebanen and the actual rail traffic load on Dovrebanen. To find the capacity, simplifications were made, and the capacity was calculated through different scenarios

that were based on different train lengths and number of train departures. The results show that the calculated capacity mainly does not allow for any potential in transferring more goods from road to rail in the future. Furthermore, the capacity on Dovrebanen will not be sufficient to meet the expected rail traffic load on Dovrebanen.

The new terminal cannot be build without fulfilling different prerequisites in order to make the terminal beneficial to use for freight transport operators. Prerequisites for the new terminal placed in the districts are, in addition to be effective and designed as a small terminal, that there is sufficient capacity on Dovrebanen. This can ensure an utilisation of all the benefits the new terminal can give. Also, one have to decide what kind of horizontal transshipment method that are to be implemented, and what degree of automation the terminal should have. This is required in order to know what kind of trains that can stop at the new terminals, and therefore how much of the capacity on Dovrebanen that can be utilised on the new terminal. To ensure an efficient terminal, good cooperation between the different transport legs for an intermodal transport is required, and the terminal should also be fully automated. A automated terminal will probably be more cost efficient. Also there is introduced a fee for usage of the railways in Norway. This should be removed in order to ensure good competitiveness for rail transportation. One last prerequisite is accessibility. The terminal must be as accessible as possible for as much freight transport as possible. Therefore, it is important to build the new terminal along important freight transport routes. The new highway at E6 may also improve the accessibility.

By building a new terminal, different benefits are expected to occur. The benefits of the terminal are mainly to stop, or at least prevent, the growth the external costs freight transportation on roads causes. But this can only be done if there is sufficient capacity on Dovrebanen. Nevertheless, there are other benefits independent of the capacity on Dovrebanen. For the first, the terminal will relieve the infrastructure in Trondheim by sending more freight transport outside Trondheim, and by this maybe give more direct transport. Also, the new terminal can ensure sufficient terminal capacity if the existing terminal capacity in Trondheim is fully utilised. The new terminal can also substitute the planned terminal at Torgård, that probably will cost too much compared to making smaller terminals. Another benefit is that the new terminal probably will make it easier to establish local freight transport routes on road that matches the train departures and arrivals on the new terminal. Such routes can be driven by the same drivers, and if that is the case, a higher level of traffic safety can be achieved. This is because the drivers will have local knowledge of possible danger points along the roads. Also, these local routes will probably be quite short, and therefore they are perfect for testing zero emission vehicles for freight transport.

From the result in the other master thesis that the appropriate placement for the new terminal is in Støren, some additional benefits are expected by placing the new terminal in Støren. First of all, it will be fully possible to take advantage of the smaller climbs at Rørosbanen and therefore be able to pull longer trains than at Dovrebanen by using Rørosbanen. Secondly, a terminal at Støren will probably relieve Fv700.

It seems that a new transshipment terminal using horizontal transshipment placed in the districts of Region Trøndelag Sør can provide important benefits for supporting increased usage of rail freight transportation. However, the possible capacity issues and the other prerequisites that have to be fulfilled, requires further investigation of the concept.

Innhold

Begrepsliste	xii
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Hensikt	1
1.3 Oppgavens fokusområde	2
1.4 Rapportens oppbygging	3
2 Teorigrunnlag – intermodal transport	4
2.1 Generelt om godsforløpet	4
2.2 Intermodal transport	5
2.3 Lastbærere i intermodal transport	6
2.4 Motivasjon til mer gods på bane	7
2.5 Trafikksikkerhet og tunge kjøretøy	8
2.6 Hvordan få gods på jernbane?	9
2.6.1 Etterspørselsiden - kundenes krav	10
2.6.2 Tilbudssiden - krav til infrastruktur og teknologi	11
2.6.3 Generaliserte transportkostnader	12
2.6.4 Togets konkurranseevne i Norge i intermodale transporter	13
2.7 Bruk av horisontal omlastning mellom veg og jernbane	14
2.7.1 Sideløfter	15
2.7.2 Sideskyvende løsninger	15
2.7.3 Andre overføringssystemer	16
2.7.4 Pris på Modalohr- og Cargo Beamer-løsningene	17
2.8 Automatisering i jernbanesektoren	17
3 Nasjonal Godstransportmodell	19
3.1 Modellens oppbygging	19
3.2 Inndata i NGM	19
3.2.1 Basismatrisene i NGM	19
3.2.2 Varegrupper og typer fremkomstmidler	20
3.2.3 Terminaler	20
3.2.4 Kostnadsmodellen	20
3.2.5 Nye vareavhengige tidsverdier i kostnadsmodellen	23
3.2.6 Utvalgte transportmiddelavhengige verdier fra kostnadsmodellen	23
3.2.7 Utvalgte vareavhengige tidskostnader fra kostnadsmodellen	24
3.3 Scenarier i NGM	24
3.4 Utfordringer med NGM	24
4 Togteknisk og vegteknisk data	26
4.1 Eksisterende godsterminaler i Trondheim	26
4.2 Viktige jernbanestrekninger i Region Trøndelag Sør	26
4.2.1 Dovrebanen	27
4.2.2 Rørosbanen	28
4.3 Veger i Region Trøndelag Sør	29
4.4 Planlagte samferdselstiltak på veg	30
4.4.1 Vegutbygging	30
4.4.2 Modulvogntog	30

4.4.3	Økt drivstoffpris	31
4.5	Utslippsdata på veg og jernbane - miljøbelastning	31
5	Metode for godsstrømanalyser	32
5.1	Mengde overført gods ved ny terminal	32
5.2	Godsoverføringspotensial	32
5.2.1	Tilgjengelig kapasitet på Dovrebanen	33
5.2.2	Godsmengde på veg og jernbane	35
5.3	Godsmengder på eksisterende terminaler i Trondheim	36
5.4	Utrekning av GTK ved ulike transportløsninger	36
6	Godsstrømsanalyse	38
6.1	Godsstrømmer på veg- og banenettet i region Trøndelag Sør	38
6.2	Mengde overført gods ved ny terminal	39
6.3	Tilgjengelig kapasitet på Dovrebanen	40
6.4	Godsmengde på veg og jernbane	43
6.5	Godsoverføringspotensial fra veg til Dovrebanen	48
6.6	Godsmengder på eksisterende terminaler i Trondheim	51
6.7	Utrekning av GTK ved ulike transportløsninger	53
7	Forutsetninger for bygging av ny terminal	56
7.1	Togtekniske forutsetninger	56
7.2	Terminalens omland	59
7.3	Samhandling	59
8	Fordeler med ny terminal	62
8.1	Generelle fordeler med omlastingsterminaler	62
8.1.1	Endring i CO ₂ -utslipp	62
8.2	Fordeler med lokal omlastingsterminal	63
8.3	Fordeler med lokal omlastingsterminal på Støren	65
9	Konklusjon	67
10	Videre arbeid	68
	Referanser	70
	Vedlegg	74
A	Rutetermin R21 på Dovrebanen	74
B	Oversiktskart ny E6	79
C	Strekingsdata ny E6 Trøndelag	80
D	Drivstoffpriser, historiske og fremskrevde	81
E	Modellering av ny terminal i NGM	83
F	Utrekning av kapasitet og vektorer på jernbane	84
G	Modellering av godsmengdescenarier i NGM	88
H	Utrekning av GTK for regneeksempel	91
I	Utrekning av CO ₂ -utslipp for endrede godsmengder	94
J	Felles sammendrag for begge masteroppgavene med samme tema	95

Figurer

1.1	Oversiktskart over oppgavens fokusområde	2
2.1	Faktorer som påvirker transporttilbud	4
2.2	Faktorer som påvirker transportteterspørsel	5
2.3	Godstransport på jernbane som del av en transportkjede	5
2.4	Ulike lastbærere for intermodal transport	6
2.5	Fordeling av type trafikkulykke der lastebil er involvert	8
2.6	Fordeling av type lastebiler som er involvert i alvorlige trafikkulykker	8
2.7	Konkurranssevne mellom veg, sjø og bane	9
2.8	Viktigste kriterier for valg av transportmiddel	10
2.9	Prinsipp for utvikling av GTK	13
2.10	Typisk utforming av terminal med horisontal omlastning	15
2.11	Skisse av prinsippet sidelaster	15
2.12	Hvordan Cargo Beamer fungerer	16
2.13	Hvordan Cargo Beamer fungerer	16
2.14	Hvordan Modalohr fungerer	16
2.15	Hvordan Modalohr fungerer	16
2.16	Skisse av prinsippet Mega swing	16
2.17	Skisse av prinsippet Flexiwaggon	17
4.1	Linjetrasé over Dovre- og Rørosbanen	27
4.2	Enhetspris for ulike tog lengder og lokomotiv	28
6.1	Godsstrømmer på vegnettet	38
6.2	Godsstrømmer på banenettet	39
6.3	Kapasitet per tog gitt tog lengde	40
6.4	Årlig Kapasitet på bane gitt frekvens	41
6.5	Årlig Kapasitet på bane gitt flere avganger med Cargo Beamer	41
6.6	Årlig Kapasitet på bane gitt flere avganger med Cargo Beamer	42
6.7	Mulig kapasitet på Dovrebanen	42
6.8	Godsmengde på Dovrebanen	44
6.9	Godstransportarbeid på jernbane i Sør-Trøndelag	45
6.10	Godsmengde på E6 mellom Støren og Berkåk	46
6.11	Godsmengde på Rv3 over Kvikne	46
6.12	Godstransportarbeid på veg i Sør-Trøndelag	47
6.13	Godsmengder i region Trøndelag Sør	48
6.14	Overføringspotensiale av gods fra veg til Dovrebanen, kapasitetsscenario K0	49
6.15	Overføringspotensiale av gods fra veg til Dovrebanen, kapasitetsscenario K1	49
6.16	Overføringspotensiale av gods fra veg til Dovrebanen, kapasitetsscenario K2	50
6.17	Overføringspotensiale av gods fra veg til Dovrebanen, kapasitetsscenario K3	50
6.18	Godsmengder behandlet ved Brattøra og Heggstadmoen terminaler	51
6.19	Godsmengder behandlet ved Brattøra og Heggstadmoen terminaler alternativ utregning	52
6.20	GTK for laksetransport mellom Frøya og Alnabru	53
6.21	GTK for matvaretransport mellom Frøya og Alnabru	54
7.1	Etterhengt vekt med økende tog lengder	57
7.2	Antall tog og lastebiler gjennom døgnet ved Støren og Berkåk	60
7.3	Antall tog og lastebiler gjennom døgnet ved Støren og Berkåk	61

8.1	Endring i CO ₂ -utslipp	63
8.2	Eksempel på godssirkel	64

Tabeller

2.1	Andel lastbærere etter antall enheter på tog. Historisk og prognostisert	7
2.2	Forventet godstransportarbeid frem til 2050	8
2.3	Forutsetninger for å få gods over på jernbane	10
2.4	Gjeldende infrastrukturavgifter for godstog	14
2.5	Priser for Modalohr- og Cargo Beamer-løsningene	17
3.1	Utdrag fra ulike typer transportmidler i NGM	20
3.2	Ulike transportmiddelavhengige kostnader som inngår i utregning av GTK i NGM	23
3.3	Vareavhengige tidsverdier for utvalgte varetyper	24
4.1	Rutetider for regulære kombitogavganger på Dovrebanen	28
4.2	Planlagte bompengeskatter på ny E6 i Trøndelag	30
4.3	CO ₂ -utslipp for tog og lastebil	31
4.4	CO ₂ -utslipp for tog og lastebil, justert etter andre årstall	31
7.1	Forhold nyttelast og total vekt på tog	58

Begrepsliste

Brekkasje	At gods under transport blir skadet. Man snakker gjerne om sannsynligheten for brekkasje som en parameter som inngår i de generaliserte transportkostnadene
Bruttotonn	Total vekt på togsettet, ikke kun godsets vekt
Euroklasse	Er utslippskrav for tunge kjøretøy. Viser hvor stor utslipp et kjøretøy maksimalt kan slippe ut. Ulike klasser tilsvarer ulike krav til utslipp.
Godstransportarbeid	Viser til arbeidet som blir utført når en viss mengde gods blir fraktet en viss distanse. Er som trafikkarbeid, men man tar i tillegg hensyn til lasten ombord. Er gitt i tonnkilometer
GTK	Forkortelse for generaliserte transportkostnader. En måte å kvantifisere en transports egenskaper ved å sette en pris på disse
Kabotasje	Godstransport i et annet land enn hvor transportmiddelet som utfører transporten er registrert. Er aktuelt ved kjøring av importvarer til et annet land. Man kan kjøre opptil tre kabotasjer etter lossing av importvarer
Kombilast	Last som fraktes i lastbærere laget for intermodal transport. Kombitog er de godstogene som frakter lastbærere som er en del av en intermodal transportkjede
LoS-data	Level of Service. I Nasjonal godstransportmodell er dette data på transporttid, distanse og eventuelle bom- og ferjekostnader mellom ulike soner
Metervekt	Togets tyngde delt på togets lengde. En måte å måle belastningen et tog har på togbanens fundament, og er i samsvar med togets aksellast
NGM	Forkortelse for modelleringsverktøyet Nasjonal godstransportmodell. Brukes til å se hvordan tiltak i samferdselssektoren kan påvirke godsstrømmer
Nyttelast	Total vekt minus egenvekt til transportmiddelet. Altså kun vekten på godset
Omland	Området en terminal betjener. Sier noe om hvor lang transportetappen på veg er mellom terminal og godstransportens avsender eller mottaker. Oppgis som regel som en radius med terminalen i sentrum
Reachstacker	Kjøretøy til håndtering av lastbærere på terminal. Brukes til løfting og stabling av lastbærere
Rutetermin	Oversikt over tildelte togruter for alle tog som benytter en viss jernbanestrekning
Skifting	Flytting av lokomotiver og togvogner inne på terminal. Brukes for eksempel til å sette sammen et fullstendig togsett
Systemlast	Kjøres av systemtog, og er når togtransporten består av en varetype som vanligvis lastes i spesiallagde vogner.
TEU	Twenty-foot equivalent unit. En måleenhet som gjør at forskjellige lastbærere kan angis med en felles enhet, og tilsvarer en container på 20 fot. Det er vanlig å beregne 9,5 tonn nyttelast per TEU.
Trafikkarbeid	Angir et strekningsarbeid et kjøretøy gjør. Er uavhengig av mengde gods i kjøretøyet, og måles i kjøretøykilometer.
Ulykkesfrekvens	Antall ulykker per million kjøretøykilometer
Vognlast	I stedet for å bruke en ferdig lastet lastbærer som settes på toget, lastes godset direkte i faste, gjerne lukkede, jernbanevogner
Vogntog	Er motorvogn med tilhenger. F.eks trekkvogn med semitrailer, eller lastebil med tilhenger
WTP	Willingness to pay. Er det man er villig til å betale for å oppnå et bestemt mål, for eksempel raskere transporttid

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn

I perioden 2018 til 2050 forventes det en vekst i godstransportarbeid på veg med 84% i Norge (Madslie, Hulleberg og Kwong, 2019). Dette kan bidra med økte eksterne kostnader fra tungtransport på veg i form av forsinkelser, ulykker, støy, slitasje på vegen, klimagassutslipp og lokal forurensing. En slik utvikling bør begrenses, og det er dermed satt som et politisk mål i Norge å få overført mer godstransport fra veg til bane og sjø (Mjøsund mfl., 2019).

Togtransport kan være en del av en intermodal transportkjede, og dermed er omlastingsterminaler en forutsetning for å kunne overføre godset mellom bane og veg. Mangel på omlastingsterminaler i én eller begge endene av en transportetappe, sørger imidlertid for at togtransport av gods blir mindre aktuelt å bruke. Videre er mange av dagens terminaler ineffektive, samt at de mangler terminalkapasitet. Slikt kan påvirke at veg blir valgt til godstransporten fremfor jernbane (Mjøsund mfl., 2019). Mulige grunner til ineffektiviteten kan være at omlastingen skjer manuelt med løfteoperasjoner fra kraner eller reachstackere, samt liten grad av automatisering.

I Trondheim pågår det et utredningsarbeid på å bygge en ny omlastingsterminal mellom veg og bane på Torgård. Terminalen på Torgård skal sikre god terminalkapasitet i lang tid, samt bedre effektivitet enn ved dagens terminaler. Underveis i utredningsprosessen ble det i 2018 imidlertid åpnet en ny godsterminal for omlasting mellom veg og bane på Heggstadmoen i tillegg til den allerede eksisterende terminalen på Brattøra som hastetiltak for å skaffe mer terminalkapasitet. Heggstadmoen terminal kostet 300 millioner kroner å bygge, og til sammenlikning er Torgård forventet å koste alt mellom 3,8 til 4,5 milliarder kroner (Jernbanedirektoratet, 2019c). Basert på disse prisene virker det gjerne mer interessant å bygge mindre omlastingsterminaler.

Dagens omlastingsterminaler befinner seg som regel i byer, slik at godstransporter som begynner eller slutter ute i distriktene gjerne må kjøre en omveg dersom godset skal overføres mellom veg og bane. Dette kan sørge for at det velges vegtransport på tross av at transportetappen gjerne går langs en jernbane. Det stilles derfor spørsmål om hvorvidt det burde ha vært omlastingsterminaler også ved viktige infrastrukturmessige knutepunkt som nødvendigvis ikke må ligge inni byer. Et eksempel på slike knutepunkt kan være hvor veger med mye godstransport går langs en jernbane. Omlastingsterminaler på slike knutepunkt vil kanskje kunne bidra til mer direkte transport også ved valg av jernbane på den lengste transportetappen.

At mange av dagens omlastingsterminaler er ineffektive, gjerne ikke tilrettelegger for direkte transport, samt at små terminaler gjerne er mer priseffektive, gjør at det stilles spørsmål om man heller skal tenke annerledes. Hva om man designer en omlastingsterminal som er liten, bruker teknologi som sikrer effektivitet, og at den plasseres ved interessante knutepunkt i distriktene? Denne masteroppgaven skal dermed ta for seg ulike aspekter rundt en ny omlastingsterminal som er liten, har stor grad av effektivitet og er plassert i distriktene. Det virker ikke som et slikt konsept er utredet i Norge.

1.2 Hensikt

Hensikten med denne oppgaven er å gjøre et innledende utredningsarbeid for bruk av små omlastingsterminaler plassert i distriktene, eller også kalt *Lokale omlastingsterminaler*. Dette arbeidet består av å kartlegge hvilke forutsetninger som må være oppfylt for at disse omlastingsterminalene kan være aktuelle å bygge. Videre skal det gjøres en kartlegging av hvilke fordeler en slik terminal kan gi. Målet er at kartleggingen av forutsetningene og fordelene kan gi viktig input i form av

kostnads- og nytteposter i en samfunnsøkonomisk analyse. En slik analyse er viktig for å se om slike terminaler kan være lønnsomme å bygge.

Videre skal det utføres en godsstrømsanalyse for å finne hvor mye gods som kan overføres fra veg til bane. Resultatet fra dette vil si noe om hvor mye man kan dempe veksten i godstransport på veg, noe som skal være en del av hensikten med de lokale omlastingsterminalene. Godsstrømsanalysen vil også gi en pekepinn på fremtidens godsmengder på veg og bane gitt ulike tiltak i samferdselssektoren, og dermed si noe om hvilke tiltak som vil kunne styrke eller senke togbanens konkurranseevne mot veg.

Masteroppgaven vil også hente inn passende teori om godstransport, og hvordan man kan gjøre godstransport på tog mer attraktivt. Videre vil teori rundt modelleringsverktøyet Nasjonal godstransportmodell fra Transportøkonomisk institutt, TØI, samt data på viktig infrastruktur presenteres. Teorien og dataen, i tillegg til å snakke med sentrale kontaktpersoner, blir i stor grad et grunnlag for videre diskusjoner rundt forutsetningene og fordelene ved en omlastingsterminal i distriktene.

Oppsummert blir denne masteroppgavens forskningsspørsmål følgende:

1. Hvordan vil godsmengdene på veg og bane utvikle seg i perioden 2018 til 2050 gitt ulike tiltak i samferdselssektoren?
2. Hvor mye gods kan overføres fra veg til bane i det aktuelle fokusområdet?
3. Hvilke forutsetninger kreves oppfylt til, og hvilke fordeler gir, en lokal omlastingsterminal?

1.3 Oppgavens fokusområde

Oppgaven vil kun behandle togtransport, og dermed ikke sjøtransport, som tiltak for å få ned godstransporten på veg.



Figur 1.1: Kartet viser hvilket område masteroppgaven fokuser på

Bruk av lokale omlastingsterminaler kan bli et konsept som kan brukes langs alle jernbanestrekninger i Norge, slik at man øker dekningsgraden av omlastingsterminaler. Ettersom masteroppgaven er et påbegynnende utredningsarbeid av konseptet lokal omlastingsterminal, samt at oppgaven skrives i samarbeid med Trøndelag Sør - Interkommunalt politisk råd, brukes infrastrukturen i Region Trøndelag Sør som utgangspunkt. Valget av fokusområdet er også med hensyn til å ha en håndterbar datamengde i henhold til angitt tidsbruk på masteroppgaven. Mye av den samme tankegangen bør imidlertid kunne brukes til videre utredning av konseptet andre steder i landet, slik at den nye terminalen i denne utredningen kan fungere som en pilot for tilsvarende omlastingsterminaler andre steder i landet. Figur 1.1 viser det aktuelle veg- og banenettet utredningsarbeidet gjøres på.

Parallelt med denne masteroppgaven skrives det også en annen masteroppgave innenfor samme tema. Den andre oppgaven dreier seg i større grad om selve plasseringen av de lokale terminalene, og skrives innenfor samme fokusområde (Borø og Hjortland, 2021). Derfor behandler denne masteroppgaven konseptet lokal omlastingsterminal uten at det er bestemt plasseringer på terminalene. Fra den andre masteroppgaven var det imidlertid tidlige indikasjoner på at det i første omgang skal plasseres én terminal i region Trøndelag Sør i nærheten av E6 mellom Støren og Berkåk. Derfor er det dette det i stor grad tas utgangspunkt i for godsstrømsanalysene. I diskusjonen brukes som regel *ny terminal* som beskrivelse av de lokale terminalene som i stedet for stedsnavn, grunnet usikker plassering av terminalene. Resultatene fra den parallelle masteren viser til slutt at terminalen bør plasseres på Støren (Borø og Hjortland, 2021), men siden dette er resultater som kom sent i forskningsprosessen, er ikke Støren nevnt som terminalens lokasjon. I vedlegg J ligger et felles sammendrag for både denne masteroppgaven og den parallelle masteroppgaven.

1.4 Rapportens oppbygging

Rapporten vil først gi et teorigrunnlag på godstransport og intermodal transport. Teorigrunnlagets innhold retter seg mot hvorfor man vil ha økt bruk av jernbane, hvordan dette kan oppnås, effekter mer gods på bane kan gi og generelle aspekter for valg av transportmiddel for godstransport. I forbindelse med masteroppgaven ble det gjort et forprosjekt, og teorigrunnlaget i denne rapporten er basert på forprosjektets teorigrunnlag. Derfor ligger forprosjektsrapporten vedlagt til innleveringen av denne masteroppgaven.

Videre i kapittel 3 presenteres de sidene av modellverktøyet Nasjonal godsmodell som ses på som viktige i forbindelse med godsstrømsanalysene som gjennomføres. I kapittel 4 presenteres også data som er viktig for godsstrømsanalysene, men også litt om planlagte tiltak på veg og bane som kan påvirke konkurransesituasjonen mellom de to transportmetodene, samt utslippsdata på veg og bane.

I kapittel 5 og 6 presenteres henholdsvis metode og resultater for godsstrømsanalysene. I metodetdelen beskrives fremgangsmåter, antakelser og scenarier som brukes i godsstrømsanalysene. I resultatdelen presenteres dataene fra godsstrømsanalysene, samt diskusjon av resultatene og diskusjon av antakelsenes begrensinger. Disse kapitlene sikter å besvare forskningsspørsmål 1 og 2.

Besvarelse av forskningsspørsmål 3 skjer i kapittel 7 og 8. Her trekkes det frem de forutsetninger som bør oppfylles for at den lokale terminalen skal være aktuell å bygge. Videre diskuteres fordelene den nye terminalen kan gi. Fordelene er delt opp etter om de gjelder omlastingsterminaler generelt, lokale omlastingsterminaler, eller en omlastingsterminal på Støren. Sistnevnte er skrevet i forbindelse med resultater fra den parallelle masteroppgaven som er innenfor samme tema.

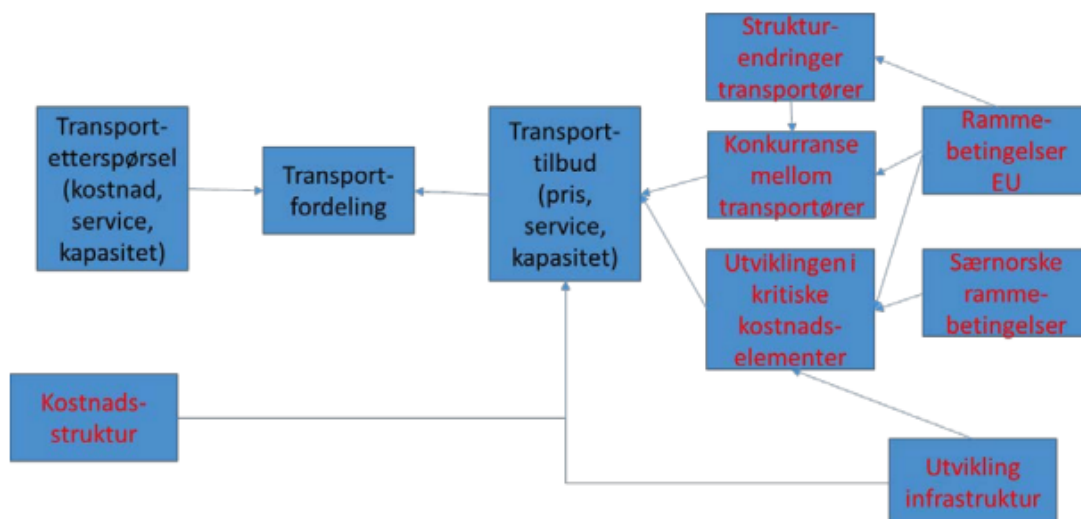
I vedleggene vises blant annet utregninger som er utført, viktige antakelser, samt ulike detaljerte fremgangsmåter og kilder til inndata.

2 Teorigrunnlag – intermodal transport

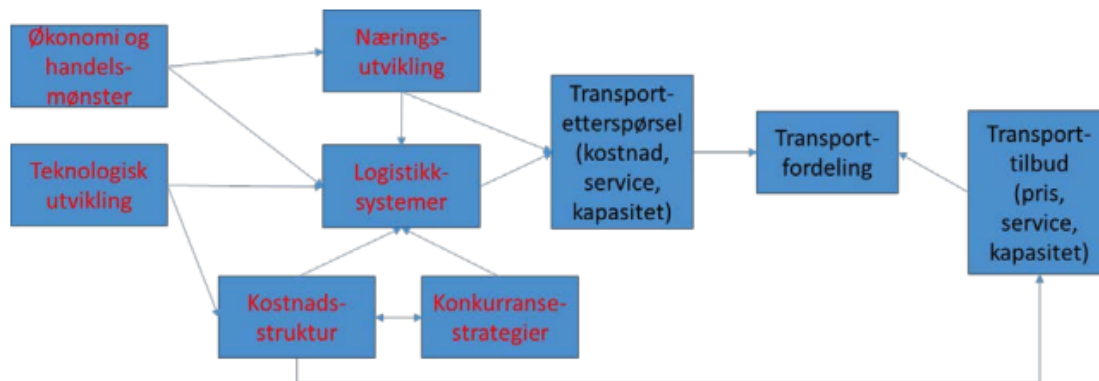
Teorigrunnlaget i dette kapitlet baserer seg i stor grad på masteroppgavens forprosjekt med tittel *Optimal plassering av omlastingsterminaler for gods fra veg til jernbane i region Trøndelag Sør*. Denne prosjektrapporten ligger vedlagt sammen med innlevering av denne masteroppgaven.

2.1 Generelt om godsforløpet

Transportmønsteret for godstransport tar utgangspunkt i hvordan logistikksystemene til næringslivet er utformet. Varetransporten er en viktig bidragsyter for bedriftenes verdiskapning, og verdiskapningen avhenger av løsninger som sørger for konkurransekraft gjennom blant annet kostands-effektive forsyningskjeder. Transportfordelingen, som er basert på bedrifters logistikksystemer, er påvirket av både utvikling på etterspørsel- og tilbudssiden, samt utvikling av rammebetingelser for transport. Faktorene som til sammen utgjør transportfordelingen er komplekse, og illustreres best i figur 2.1 og 2.2. Spesielt viktig er nok innenfor transporttilbudet, hvor priser bestemmes gjennom konkurranse både intermodalt (mellom ulike transportformer) og intramodalt (konkurranse mellom samme type transportmiddel), samt transportmidlenes kostnadsstruktur. I tillegg er det særnorske rammebetingelser hvor avgiftsnivå, energipriser og arbeidstidsregulering påvirker kostnader. Dette, sammen med kvaliteten på infrastrukturen, sørger for innbyrdes konkurranse mellom de ulike transportmidlene (Grønland mfl., 2014).



Figur 2.1: Faktorer som påvirker transporttilbud (Grønland mfl., 2014)



Figur 2.2: Faktorer som påvirker transportetterspørsel (Grønland mfl., 2014)

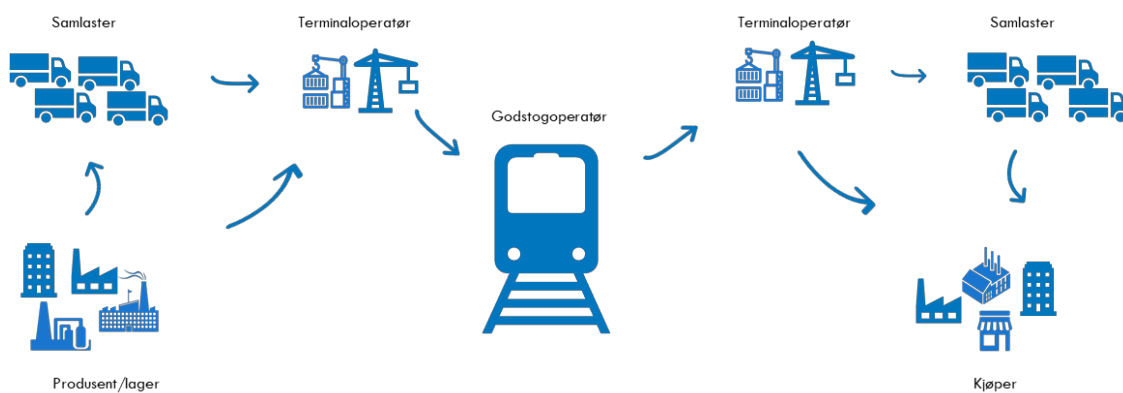
Etterspørselen henger mer sammen med utforming av logistikksystemer, som igjen avhenger av kostnadsstruktur. Dermed finnes det ulike logistikksystemer som er tilpasset de ulike næringene, hvor i hovedsak den lengste godsreisen tas med bil, båt eller bane (Grønland mfl., 2014). Hvordan et produkt reiser kan også kalles en transportkjede.

2.2 Intermodal transport

Intermodal transport er når mer enn én transportform inngår som en del av en transportkjede. Overførsel mellom transportformene skjer i standardiserte lastbærere som alle transportformer kan transportere. Dermed slipper man lasting og lossing av varer til og fra selve lastbæreren mellom hver transportform. Intermodal transport utgjør en stor andel av det totale godstransportarbeidet på tog. Egne intermodale terminaler benyttes for overførsel av lastbæreren (Spurkeland, 2021a).

En typisk intermodal transportkjede kan se ut som i figur 2.3, hvor togtransport står for den lengste godstransportetappen. Innenfor en slik kjede vil tilbudssiden, altså de som tilbyr transport, være godstogoperatører og terminaloperatører. Førstnevnte er ulike selskap som tilbyr togfrakt, enten som kombilast, vognlast eller systemlast. Innenfor intermodal transport er kombilast det mest aktuelle, da kombilast er frakt av intermodale lastbærere på tog (Oslo Economics, 2018).

Terminaloperatørene sørger for operering av godsterminalene, og det finnes ulike eiere av disse. De terminaler som eies av Bane NOR fungerer slikt at Bane NOR er grunneier, og leier ut tilganger for å levere terminaltjenester til ulike operatører (Oslo Economics, 2018).



Figur 2.3: Eksempel på hvordan godstog kan inngå som en del av en transportkjede (Oslo Economics, 2018)

På etterspørselsiden har man de som etterspør transport, altså kjøper transport, som i hovedsak består av samlastere og vareeiere. Samlastere, også kalt speditører, defineres som “Logistikkelskaper som tilbyr transportløsninger fra dør til dør, og benytter et omfattende distribusjonsnett bestående av ruter på vei, sjø og bane bundet sammen av terminaler” (Oslo Economics, 2018). Verdt å merke seg er at samlastere står for den største andelen transport av kombivolum på jernbane. Vareiere bruker i stor grad samlastere for frakt av deres varer, og som regel har da vareieren ikke innblikk i hvilket transportmiddel som brukes. De større vareierne kan imidlertid påvirke valg av transportmiddel, ved for eksempel be samlaster benytte tog der det er mulig grunnet miljøhensyn. Et viktig aspekt med samlastere er at de pakker ulike vareieres varer i samme lastbærer (Oslo Economics, 2018). Dette fører til effektivisering av transporten og høy kapasitetsutnyttelse (Spurkeland, 2021a). Noen store vareeiere, som i hovedsak har volumer store nok til å fylle hele tog, kjøper togtransport direkte fra godstogselskap. Slik togtransport kalles systemlast og krever at man har egne lastbærere (Oslo Economics, 2018).

2.3 Lastbærere i intermodal transport

Det finnes ulike former for lastbærere i intermodal transport, og hvordan man skal håndtere de ulike lastbærerne varierer. Dermed er det viktig å vite hvordan utviklingen i bruken av lastbærere vil være for å gjøre godsterminaler egnet til fremtidige transportbehov (Grønland, Mjøsund og Hovi, 2018).

De tre viktigste lastbærerne for intermodal transport er vekselflak, container og semitrailer. Vekselflak er den mest utbredte lastbæreren på jernbane, og skiller seg fra containeren ved at den er bredere, slik at plassutnyttelse på lastebil og jernbanevogn er bedre. Vekselflaget har i motsetning til containeren ikke fester i toppen av rammen, ei heller muligheten til å stables. Dermed er container bedre egnet til sjøtransport. Containerne og vekselflakene har like fester i bunn av rammen, slik at begge kan benyttes på samme jernbanevogn og biler. Vekselflaget hensettes også på egne bein. Semitraileren er en egen henger som trekkes av en trekkvogn. Dette er en vanlig form for lastbærer på veier. Figur 2.4 viser de ulike lastbærerne. Merk at megatrailer ikke brukes i Norge under normale omstendigheter i dag (Grønland, Mjøsund og Hovi, 2018).



Figur 2.4: Foto av de ulike lastbærerne bruk i intermodal transport (Grønland, Mjøsund og Hovi, 2018)

Valg av lastbærer på jernbane i fremtiden retter seg mot dagens hovedstandarder, som er vekselflak på 25 fot og semitrailere på 13,6m. Dersom man får en bedre overgang mellom sjø og jernbane, vil dette kunne øke andelen containere. Tabell 2.1 viser historisk og prognostisert lastbærerandel på tog (Grønland, Mjøsund og Hovi, 2018).

Tabell 2.1: Historisk og prognostisert utvikling av relativ fordeling mellom lastbærere etter antall enheter på tog (Grønland, Mjøsund og Hovi, 2018)

År	Containere	Vekselflak	Semitrailer
2011	5%	77%	18%
2012	5%	76%	19%
2013	5%	78%	17%
2014	5%	77%	18%
2015	5%	79%	16%
2016	5%	77%	18%
2017	5%	77%	17%
2030	5%	81%	14%

For vegtransport finnes det ikke tydelig informasjon om fordelingen av lastbærere. Imidlertid utgjorde trekkvogner med semitrailer i 2017 46% av det totale godstransportarbeidet fra norskregistrerte lastebiler på norske veier (Grønland, Mjøsund og Hovi, 2018). Andelen trekkvogn med semitrailer på veg er økende (Langeland og Phillips, 2016).

2.4 Motivasjon til mer gods på bane

At man skal ta hensyn til klimagassutslipp, bedre fremkommelighet på vegene og bedret trafikk-sikkerhet, gjør at godsoverføring fra veg til sjø og bane er et politisk mål i mange land, og deriblant Norge. Norge har forpliktet seg til Paris-avtalen, samt egne rammeverk fra EU. Her er det et mål om at den ikke-kvotepålagte sektoren, som i stor grad utgjøres av transportsektoren, skal redusere utslipp med 30% innen 2030 (Mjøsund mfl., 2019).

Videre påfører tunge vegfarende kjøretøy eksterne kostnader, altså kostnader tungtransport påfører andre trafikanter og omgivelsene i form av (Foss mfl., 2010):

- Forsinkelser
- Ulykker
- Trafikkstøy
- Vegslitasje
- Lokal og regional luftforurensing (Partikler, NO_x , og annet)
- Utslipp av klimagasser

Spesielt med tanke på ulykker er tunge kjøretøy en viktig bidragsyter til alvorlige ulykker på veg (Mjøsund mfl., 2019) Mer om trafiksikkerhet i delkapittel 2.5.

Det er ventet en vekst i godstransportarbeidet, og denne tas hovedsak på veg. Veksten vises i tabell 2.2, og tallene er fra modelleringer i nasjonal godstransportmodell gjort av TØI. De vegprosjekt som er planlagt for fremtiden er inkludert i fremskrivingene (Madslie, Hulleberg og Kwong, 2019). En økning i transport på veg vil styrke de eksterne kostnadene som er nevnt over (Foss mfl., 2010). Mindre transport på veg bør dermed tilsvarende kunne minke de nevnte eksterne kostnadene. Overføring av gods fra veg til sjø og bane er et virkemiddel for reduksjon i vegtransport (Mjøsund mfl., 2019).

Tabell 2.2: Utvikling i samlet godstransportarbeid på norsk område, gitt i millioner tonnkilometer. Eksklusive råolje og naturgass (Madslien, Hulleberg og Kwong, 2019)

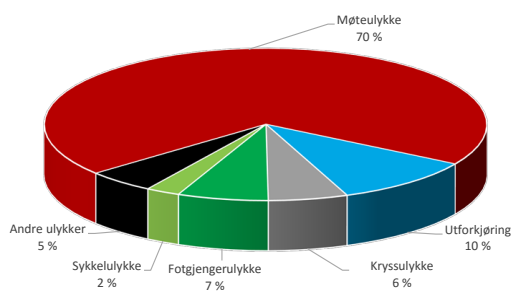
År	Veg	Jernbane
2018	21 844	4 921
2030	28 142	5 964
2050	40 208	7 462

2.5 Trafikksikkerhet og tunge kjøretøy

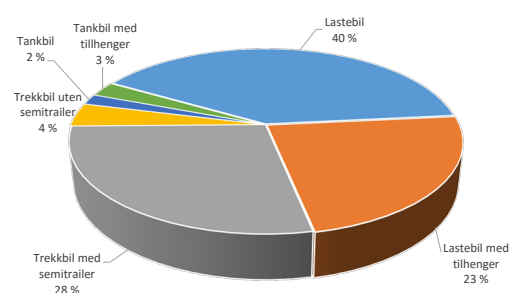
Selv om Norge er et av de landene med færrest trafikkdrepte per innbygger, er Norge cirka 35% over gjennomsnittet i Europa når det gjelder drepte per innbygger i ulykker som involverer tunge kjøretøy. I dødsulykker hvor tungtransport er en involvert part, vil de drepte som regel ikke være sjåføren av det tunge kjøretøyet, men heller sitte i en person- eller varebil truffet av det tunge kjøretøyet (Langeland og Phillips, 2016).

I Norge ligger andelen av trafikkarbeidet som skjer på motorveg på omlag 8%. Dette er mye lavere enn en del andre europeiske land. Dermed går mye av trafikkarbeidet på veger uten atskilte kjøreretninger som gjør møteulykker dominerende for ulykker som involverer tunge kjøretøy (Langeland og Phillips, 2016). Ulykkesfrekvensen for motorveg ligger på 0,06, mens ulykkesfrekvensen for riksveg i spredt bebyggelse med 80km/t og uten midtdeler ligger på 0,17 (Statens vegvesen, 2007).

Figur 2.5 og 2.6 viser hvilken type ulykke som dominerer blant tunge kjøretøy, samt hvilke type kjøretøy som er involvert. Smale, glatte og svingete veger er ofte viktige faktorer for ulykkene. For eksempel er kun 1/20 av dødsulykkene på rettstrekk forårsaket av tungtransport, men hele 1/5 av dødsulykkene i svinger utløses av tungtransport.



Figur 2.5: Fordeling av drepte i ulykker med lastebiler i Norge 2010-2014 (Langeland og Phillips, 2016)



Figur 2.6: Involverte lastebilkombinasjoner i alvorlige ulykker i perioden 2010-2014 (Langeland og Phillips, 2016)

Generelt sett er det en nedgang i antall alvorlige trafikkuulykker som involverer tunge kjøretøy. Denne nedgangen er imidlertid ikke like stor for trekkvogn med semitrailer, slik at man kan si at andelen semitrailere med trekkvogn som er involvert i alvorlige ulykker er økende. Videre nevnes det at utenlandske aktører, som tar over en stadig større markedsandel av godstrafikk på vei og ofte benytter trekkvogn med semitrailer, har en større risiko for ulykke enn norske aktører (Langeland og Phillips, 2016).

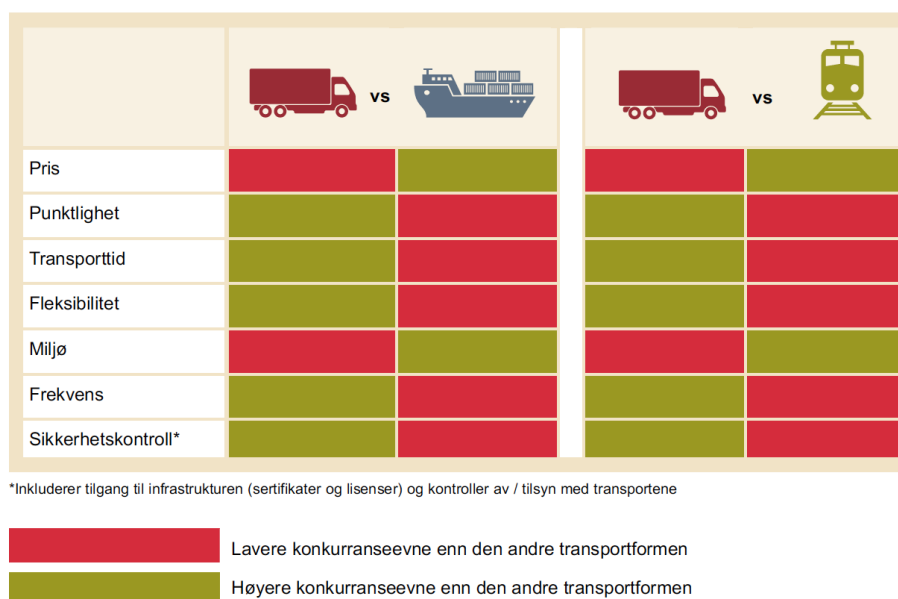
Et viktig tiltak for reduksjon av trafikkuulykker med tunge kjøretøy er overføring av gods til sjø og bane. Denne overføringen kan gi gode utfall, der for eksempel 25% reduksjon i trafikkarbeid med lastebil, gir 15% færre lastebilulykker (Langeland og Phillips, 2016). På tross av dette er ikke gods-overføring i seg selv sett på som et trafikksikkerhetstiltak i *Nasjonal tiltaksplan for trafikksikkerhet på veg 2018-2021* (Mjøsund mfl., 2019).

Når det gjelder laksetransport på veg produseres en del avrenning fra isen som kjøler laksen. Denne ender på vegen og kan være svært trafikkfarlig grunnet plutselig glatte partier på vegen. Avrenningen skjer kun stykkevis, for eksempel i forbindelse med en oppoverbakke, slik at det er svært uforutsigbart hvor det eventuelt blir glatt på vegen.

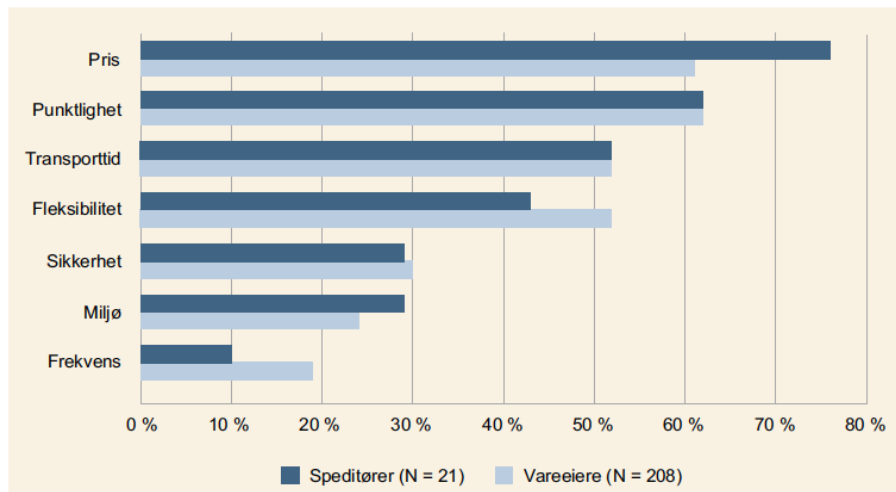
2.6 Hvordan få gods på jernbane?

Et viktig begrep innenfor konkurransen mellom veg, sjø og bane er *konkurransflate*. Dette er, som skrevet i *Konkurransflater i transport* (2011) “når transportbrukerne står overfor alternativer når transportoppgaver skal løses” (Hovi og Grønland, 2011). Dette betyr at etterspørselsidens valg av transportmiddel bestemmes utfra forutsetninger som fysisk tilgjengelighet til et transportmiddel, samt kostnad og kvalitet på transporten. Disse forutsetningene bestemmer da altså for eksempel hvor konkurransedyktig intermodal transport kan være fremfor å bruke direkte transport uten terminalbehandling (Hovi og Grønland, 2011).

De ulike transportmidlenes konkurranseevne, altså hvordan de ulike transportmidlene konkurrerer på tilbudssiden seg i mellom, kan oppsummeres som figur 2.7 fra *Riksrevisjonens undersøkelse av overføring av godstransport fra vei til sjø og bane* (Riksrevisjonen, 2018). I tillegg viser figur 2.8 hvilke faktorer som ses på som de viktigste for valg av transportform fra etterspørselssiden (Riksrevisjonen, 2018). De nevnte faktorene er en mer detaljert inndeling av de ovenfornevnte stikkordene fysisk tilgjengelighet, kostnad og kvalitet.



Figur 2.7: Figuren viser konkurranseevnen til veg, sjø og Bane (Riksrevisjonen, 2018)



Figur 2.8: Figuren viser hvilke kriterier som er de viktigste for valg av transportform for etterspørselsiden (Riksrevisjonen, 2018)

Forutsetninger for å styrke togets konkurransevne er oppsummert i tabell 2.3. Tabellen viser krav fra etterspørselsiden og til tilbudssiden. Etterspørselsiden viser til kundenes krav, mens tilbudssiden viser til tekniske og infrastrukturemessige krav (Islam, Ricci og Nelldal, 2016). I tillegg viser tidligere modellering at økte drivstoffavgifter på veg kan sørge for økt overførsel fra veg til bane (Hovi og Grønland, 2011).

Tabell 2.3: Forutsetninger for å få gods over på jernbane (Islam, Ricci og Nelldal, 2016)

Etterspørselsiden	Tilbudssiden
Pålitelighet - reisetid med tog	Kapasitet på system
Totale kostnader	Utnyttelse av tilgjengelig kapasitet
Tilgjengelighet og fleksibilitet	Aksellast
Sikkerhet	Hastighet til godstog
Miljøvennlighet	Akselerasjon og bremsing
	Mulig bredde og høyde på gods
	Toglengde
	Valg av lokomotiv
	Metode for omlastning

2.6.1 Etterspørselsiden - kundenes krav

For at en speditør eller vareeier ønsker å bruke togtransport til godsfrakt, settes det krav til punktene vist på etterspørselsiden i tabell 2.3. For det første må toget tilby en pålitelig service, der godset ankommer til avtalt tid. I tillegg må reisetiden gjennom hele transportkjeden være konkurransedyktig mot kun bruk av veg. Det samme gjelder dør-til-dør-kostnaden, som ofte er høy på tog, spesielt på kortere avstander (Islam, Ricci og Nelldal, 2016). Godstransport med tog på avstander under 300 km klarer sjeldent å være konkurransedyktig mot transport på veg, og i Norge er det dermed godstransport spesielt på avstander over 300 km man ønsker å overføre til bane (Mjøsund mfl., 2019). Togets konkurransevne vil imidlertid variere fra varetype til varetype, slik at det er nødvendigvis ikke satt at godstransport med alle typer varer på tog vil være konkurransedyktig på strekninger over 300 km. Det er dermed viktig å ha kjennskap til de ulike varetypene når man skal vurdere togets konkurransevne mot veg (Hovi og Grønland, 2011).

De tre neste punktene på etterspørselsiden i tabell 2.3 går ut på at man må ha omlastingsterminaler tilgjengelig for å kunne tilby fleksible transportløsninger med tog, at godstransport på tog

ofte er bedre sikret enn ved vegtransport, samt ønsket fra kunder om mer miljøvennlighet (Islam, Ricci og Nelldal, 2016). Et vanlig problem med togtransport er nettopp mangelen på omlastings-terminaler i en eller begge ender av en transportetappe (Mjøsund mfl., 2019), da må biltransport velges fremfor togtransport. Togtransport for gods brukes som regel kun hvor både produsent og mottaker har nærhet til en omlastningsterminal (Hovi, Grue og Caspersen, 2014). Det er vanlig å regne at produsent og mottaker som ligger innenfor et omland på en radius av 50 km rundt en omlastningsterminal er aktuell for jernbanetransport. Utbedring av veginfrastruktur kan imidlertid øke omlandets radius (Sundfjord, Nordtveit og Bayer, 2018).

Videre er det ofte i intermodal transport ganske konsentrerte tider av døgnet hvor transport blir etterspurt. Disse markedsattraktive timene kalles prime-time. En viktig grunn er at forsyningskjedene er lagt opp slik at varene sendes på ettermiddagen, transporteres på natten, og mottaker får varene tidlig på morgenen. Eventuelle kapasitetsøkende tiltak må dermed konsentrere seg om å sikre rikelig med kapasitet i prime-time, både på terminaler og strekninger (Jernbanedirektoratet, 2019b).

2.6.2 Tilbudssiden - krav til infrastruktur og teknologi

En reduksjon i driftkostnader er viktig for å øke togets konkurransedyktighet, og denne reduksjonen henger godt sammen med totale kapasiteten bane kan gi. Alt som står under tilbudssiden i tabell 2.3 vil kunne påvirke den totale kapasiteten (Islam, Ricci og Nelldal, 2016).

Et togs kapasitet utgjøres av togets lengde og lastkapasitet, altså hvor mye gods et tog kan frakte. En økning av lengden på godstogene krever oppgradering av eksisterende infrastruktur og terminaler, og er kostbart. På en annen side minker behovet for dobbeltspor som ofte er dyrere enn oppgraderingen av eksisterende infrastruktur og terminaler. Tilrettelegging for lange tog, samt muligheten for bredere og høyere last vil kunne gi forbedret kapasitet. Lasthøyde og -bredde er ofte begrenset av passasjer gjennom tunneler, broer og andre strukturer. Dermed kan dette være kostbart å forbedre. En økning i lasthøyde og -bredde i kombinasjon med økt aksellast gir en bedre effekt kapasitetsmessig. Å tilrettelegge for høy aksellast er imidlertid dyrt. Videre vil togkapasitet multiplisert med frekvens, altså antall togavganger per dag, gir den totale kapasiteten på en togstrekning per dag (Islam, Ricci og Nelldal, 2016).

En annen viktig faktor er at selv om toget har en gitt kapasitet, betyr det nødvendigvis ikke at denne alltid er utnyttet. Dermed er utnyttelsen av togkapasiteten viktig å gjøre så stor som mulig for å senke driftskostnader per tog. Dette gjøres med å utnytte selve lastbærerens kapasitet maksimalt, samt å få plass til så mange lastbærere som mulig per tog (Islam, Ricci og Nelldal, 2016).

Høyere hastighet betyr mer energiforbruk, men samtidig vil det gi en lavere reisetid på transporten. Dermed kan man øke utnyttelsen av togkapasiteten per tidsenhet. I tillegg kan godstog med økt hastighet enklere kunne kjøre mellom passasjertog som holder høyere hastighet. Godstog bruker i tillegg lenger tid på akselerasjon og bremsing, slik at en forbedring på dette feltet vil kunne senke reisetiden ytterligere (Islam, Ricci og Nelldal, 2016).

Valg av lokomotiv går inn på hvilke togbaner som kan brukes med tanke på om banen er elektrifisert eller ikke. I tillegg kommer miljøaspekter inn, ettersom elektriske lokomotiv som regel scorer bedre på dette feltet. Såkalte bimodale lokomotiv er lokomotiv som kan gå på både diesel og strøm. Bruk av et slikt lokomotiv gir en fordel ettersom det samme lokomotivet kan brukes på alle togbaner, samt inne på godsterminal (Islam, Ricci og Nelldal, 2016).

Til slutt kommer punktet om forbedret omlastingstid på terminalene. Dette diskuteres nøyere i

2.6.3 Generaliserte transportkostnader

Generaliserte transportkostnader, GTK, brukes for å regne på kostnadene som oppstår for å transportere en vare fra en lokasjon til en annen. GTK kan dermed brukes til å bestemme hvilken transportmetode som kjøperen av transport ønsker å bruke, ettersom kjøperen vil velge transportmetoden som gir lavest GTK. GTK regnes som funksjon av godsets reiseavstand, A , og kan skrives som formel (2.1) (Oslo Economics, 2015).

$$G(A) = P(A) + k \cdot T(A) + h \cdot V(A) + s \cdot S(A) \quad [kr] \quad (2.1)$$

$G(A)$ = Generalisert transportkostnad

$P(A)$ = Transportpris per tonn

k = Godsets tidskostnad

$T(A)$ = Transporttid

h = kostnad for håndtering av usikker leveringstid

$V(A)$ = Variasjon i leveringstid

s = Kostnad ved skade på godset

$S(A)$ = Sannsynlighet for brekkasje

Transportprisen $P(A)$ er de direkte kostnadene ved transporten, og relateres til driftskostnader for kjøretøyet. Man kan si at transportprisen er den prisen en vareeier må forvente å betale i rene kroner for å få transportert godset sitt. Driftskostnadene er komplekse å bestemme ettersom de ikke kun er avstandsavhengige, men også avhengige av type transportmiddel, konkurransesituasjon på tilbydersiden, godsmengde, retningsbalanse og mulighet til samlastning av ulikt gods (Hansen, Solvoll og Jørgensen, 2007).

Kjøperen av transport, altså vareieren, sine kriterier for valg av transportmetode vektet gjennom k , h og s . På den måten kan GTK kvantifisere de kriterier kjøperen av frakt har (Oslo Economics, 2015). Eksempler på kriterier kan være som i figur 2.8. Godsets tidskostnad, k , bestemmes av godset egenverdi, verdiforringelse per tid av godset, samt en lagerrente vareier setter på varer under transport (Hansen, Solvoll og Jørgensen, 2007). For eksempel vil varer med høy tidsverdi, k , gi ekstra høy GTK om reisetiden blir for stor. Dermed vektlegger man at reisetid er viktig for valg transportmetode når k er stor (Oslo Economics, 2015).

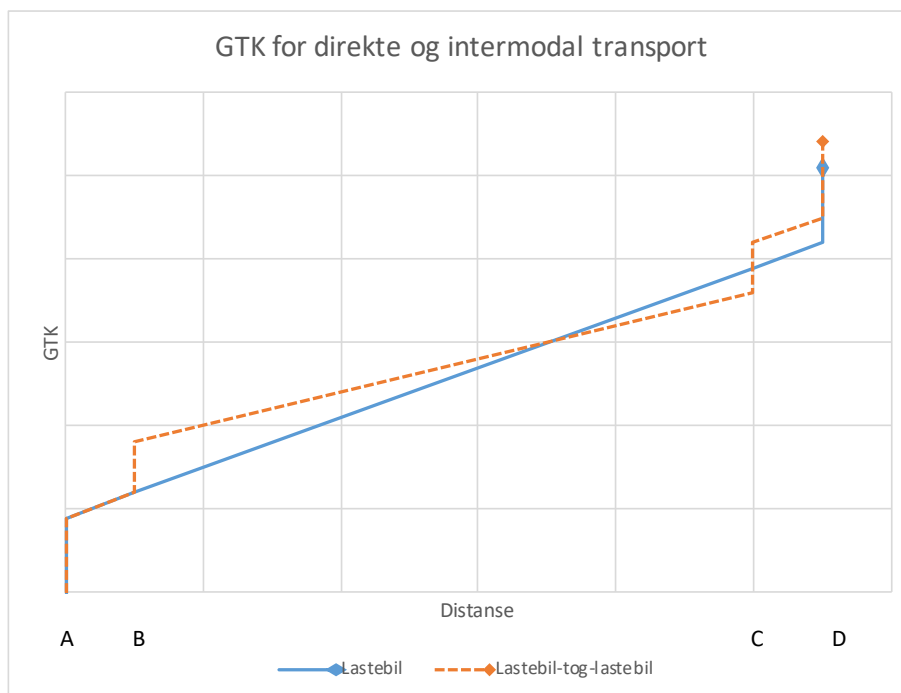
Videre vil det være en variasjon i leveringstid gjennom uforutsette forsinkelser som for eksempel et ras som stenger en veg eller togbane. Parameteren h brukes dermed for å kvantifisere hvor viktig det er for vareeier at varen kommer frem til avtalt tidspunkt. Skadekostnaden, s , er de kostnadene en skade på godset på terminal eller under transport gir. Sannsynligheten for skade, $S(A)$, avhenger av transportert avstand. Det er imidlertid usikkert hvordan sammenhengen til $S(A)$ er mellom ulike transportmidler og -former (Hansen, Solvoll og Jørgensen, 2007).

Transporttiden, $T(A)$, henger i stor grad sammen med transportavstand. Videre bestemmes variasjonen i leveringstid, $V(A)$ utfra standard på infrastruktur. Er standarden god, er sannsynligheten for uforutsette forsinkelser lavere. Videre nevnes det at dersom avstanden til transporten er høy, vil $V(A)$ kunne være lavere med bruk av intermodal transport der bane eller skip står for den lengste etappen. For at dette skal være sant må alle ledd i den intermodale transporten ha effektive omlastingsterminaler og god samhandling mellom transportmidlene (Hansen, Solvoll og Jørgensen, 2007).

For intermodal transport vil også omlastingstkostnader mellom ulike transportmidler inngå i de

totale generaliserte transportkostnadene. Omlastingskostnader består i hovedsak av tidskostnader for at godset må vente på terminal, samt selve kostnadene for flytting av lastbærer mellom transportmidlene (Hansen, Solvoll og Jørgensen, 2007).

Figur 2.9 viser et typisk forløp for hvordan GTK kan utvikle seg over distanse for direkte transport, samt intermodal transport med kjeden lastebil-tog-lastebil. GTK stiger saktere for transportetappen på jernbane. Dette gir mening ettersom jernbane har lavere kostnader enn vegtransport på selve transportetappen, som vist i figur 2.7. Ved punkt A og D har man faste kostnader til lasting og lossing, mens ved punkt B og C har man omlastingskostnader for å overføre lastbærer mellom lastebil og tog (Hansen, Solvoll og Jørgensen, 2007). I figur 2.9 kan man se at godsets reisestrekning er for kort til at den intermodale løsningen er den mest lønnsomme.



Figur 2.9: Viser hvordan GTK kan utvikle seg over distanse for direkte transport med lastebil, og intermodal transport med kjeden bil-lastebil-bil

2.6.4 Togets konkurransevne i Norge i intermodale transport

Basert på tidligere delkapitler er det tydelig at togets konkurransevne økes ved å forbedre de ulike parametrene som inngår i GTK. For jernbane i Norge er det vedtatt en godspakke i NT-Ps planperiode 2018-2029, som setter av cirka 18 milliarder kroner til å oppgradere infrastruktur og teknologi. Her inngår å bygge banekoblinger, bygge/forlenge kryssingsspor, elektrifisere jernbanestrekninger, mer effektive godsterminaler, og å åpne jernbanen for nye kunder og produkter (Mjøsund mfl., 2019). Videre for NTP 2022-2033 anbefaler jernbanedirektoratet en videreføring av gjeldene godsstrategi som skal sørge for lavere enhetskostnader per mengdeenhet. Da skal det, som skrevet i Jernbanedirektoratets *Godsstrategi - NTP 2022-2033*, i hovedsak fokuseres på (Jernbanedirektoratet, 2019a):

- Infrastruktur: Effektive terminaler og økte tog lengder
- Innovasjon og teknologi: Effektivisering av driften, tilpassing til fremtidige logistikkkrav, og alternativer til infrastrukturtiltak

- Rammebetingelser: Kompensasjon for økte infrastrukturavgifter og prioritering mellom togkategoriene

Videre nevner jernbanedirektoratet at transportkostnader på jernbane kan påvirkes gjennom flere kanaler som transporteffektivitet (godsmengde per tog), fremføringstid, distanse og utnyttelse av materiell (Jernbanedirektoratet, 2019a), noe som samsvarer med tabell 2.3. I tillegg har Bane NOR i 2018 innført infrastrukturavgifter for kombitransport på jernbane, som gradvis implementeres mellom 2018 og 2025. Ved full implementering av avgiftene kan dette resultere i en nedgang på 11% i transportarbeid med bane til 2030 (Jernbanedirektoratet, 2019a). Tabell 2.4 viser avgiftssatsene.

Tabell 2.4: Gjeldende infrastrukturavgifter for godstog (Bane NOR, 2019)

Banestrekning	Pris [Øre per brutto tonnkilometer]	Kommentar
Oslo Lokal	0,51	For strekningen Alnabru-Brattøra gjelder Oslo Lokal mellom Alnabru og Eidsvoll
Oftobanen	2,71	
Øvrige Strekninger	1,14	

Siden høsten 2019 er det innført en støtteordning fra statens side, for å styrke togbanens konkurransevne grunnet blant annet infrastrukturavgifter og bedring av vegnett som gi raskere fremføringstid på veg (Jernbanedirektoratet, 2019a).

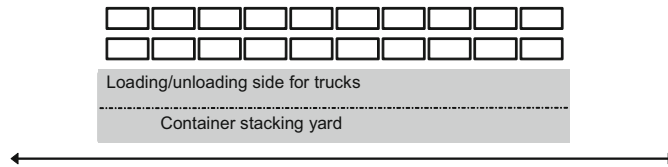
2.7 Bruk av horisontal omlastning mellom veg og jernbane

For at bruk av intermodal transport skal kunne øke, er man i stor grad avhengig av effektiviteten på godsterminaler (Hovi, Skyberg og Bøe, 1999). En tradisjonell form for omlastning på godsterminalene er vertikal omlastning hvor lastbærer løftes mellom transportmidlene, men denne løsningen er tidkrevende, dyr og tar inn en større risiko for skade på godset. I tillegg kan 80% av semitrailere i Europa ikke løftes (Islam, Ricci og Nelldal, 2016).

Dermed trenger man løsninger som er billigere og mindre tidkrevende, og inn her kommer horisontal omlastning, som er omlasting uten å løfte lastbæreren, med sine fordeler (Islam, Ricci og Nelldal, 2016)(Široký, 2012)(Klemenčić og Burg, 2018):

- Toget trenger kortere stopptid for lasting og lossing, typisk 15-30 minutter
- Trenger mindre betjening på terminal, dermed mulighet for delvis eller fullstendig automatisering
- Terminalene kan bygges kompakte, siden man ikke trenger egne togspor til lagring (se figur 2.10)
- Ingen bruk av diesellokomotiv for skifting
- Ingen konflikter med kontaktledninger

Til sammenlikning bruker et godstog i dag som ankommer Brattøra sørfra omlag 2,5 til 3 timer på å losses, bli snudd, deretter lastes og klargjøres, før det kan reise sørover igjen (Franzen, 2021).

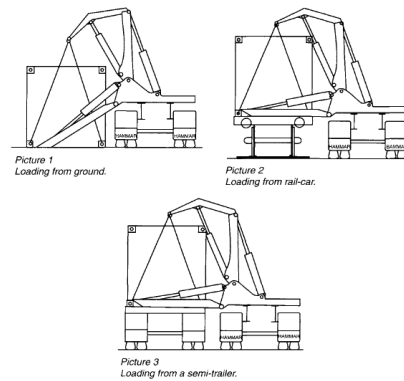


Figur 2.10: Typisk terminalutforming ved horisontal omlastning (Islam, Ricci og Nelldal, 2016)

For å dypere diskutere konseptet med horisontal omlastning, skal nå ulike løsninger presenteres. Felles for de ulike løsningene er at de ofte krever spesiell terminalinfrastruktur, spesielle togvogner, eller begge deler. Den spesielle terminalinfrastrukturen muliggjør imidlertid hel- eller delautomatisering av omlastning av lastbærerne mellom veg og jernbane (Lavoll, 2016).

2.7.1 Sideløfter

Sideløfter er et løfteutstyr som kan monteres på lastebiler. Den består av to kraner som opereres av sjåføren. Teknologien tillater lasting og lossing av lastbærere fra bakkenivå, samt sideveis overføring av lastbærere mellom to trailere eller mellom trailer og togvogn. Sideløfteren brukes vanligvis på områder hvor passende løfteutstyr ikke finnes, og generelt andre områder som ikke er ment for lossing, lasting og overførsel av lastbærere. Selve flyttingen av lastbæreren tar omlag tre til fire minutter (Lowe, 2006)(Dybdahl, 2018). En viktig begrensning med sideløfteren er at dersom man bygger en omlastningsterminal som tar utgangspunkt i bruk av sideløfter, krever man også at alle lastebiler har sideløfter montert. Dette er imidlertid utbredt i en relativ stor grad (Lavoll, 2016).



Figur 2.11: Skisse av prinsippet sidelaster (Lowe, 2006)

2.7.2 Sideskyvende løsninger

Sideforskyvende løsninger er horisontal forflytning mellom to transportenheter, og er et integrert system hvor forflytning kan skje uten ekstern hjelp som løfting med kran (Dybdahl, 2018). Et sentralt eksempel på slik sideforskyvende teknologi er Cargo Beamer: Trekkvognen setter fra seg semitraileren i en spesiell ventevogn, og så snart dette er gjort kan trekkvognen kjøre videre. Når toget kommer vil en automatisk håndtering av semitrailer starte, og løpet av kort tid, typisk 15 minutter, er lasting og lossing av toget gjennomført. Cargo Beamer krever imidlertid spesielle togvogner og terminaler, men tillater også konvensjonell lasting og lossing med kran. I tillegg til semitrailere kan også containere og vekselflak benyttes som lastbære (Klemenčić og Burg, 2018). Se figur 2.12 og 2.13 for konseptet.

En annen løsning er CarConTrain (CCT), som er en vogn som reiser parallelt med togbanen, og er utstyrt med armer som horisontalt kan overføre lastbærere. Denne løsningen kan være fullt automatisert, og behøver ikke at lastebil eller trekkvogn er tilgjengelig når av/på-lastning av tog skjer (Islam, Ricci og Nelldal, 2016).



Figur 2.12: Påkjøring på flak som sideforskyves (Cargo Beamer, ukjent år)



Figur 2.13: Sideveis forskyving av flak fra venteposisjon til tog (Cargo Beamer, ukjent år)

2.7.3 Andre overføringsystemer

Det finnes en rekke andre alternative overføringssystemer som Mega swing, Modalohr og biltog for hele lastebilen. Felles for disse er at semitrailer kjøres direkte på togvognen av trekkvogn. Modalohr krever på lik linje med Cargo Beamer spesielle vogner og terminaler. Dette gjøres ved hjelp av roterende flak på togvognen som vist i figur 2.14 og 2.15, der trekkvognen selv kjører semitraileren på plass (Modalohr, 2003).

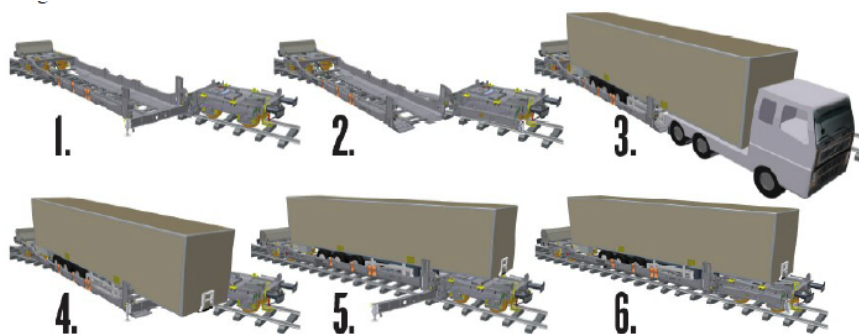


Figur 2.14: Påkjøringsrampe for vogntog. Selve rampen er en fast installasjon (Modalohr, 2003)



Figur 2.15: Lastbærer i posisjon på togvogn (Modalohr, 2003)

Mega swing, har også roterende flak, men i motsetning til Modalohr kan disse senkes til bakkenivå. Dermed trengs det ikke noen spesiell utforming på terminalen, annet enn at tilgrensende flater ikke har helning. Semitrailer må imidlertid rygges inn på togvognen (Široký, 2012).



Figur 2.16: Skisse av prinsippet Mega swing (Široký, 2012)

I stedet for at lastbærer etterlates på en togvogn, er det også mulig å kjøre hele lastebilen på en togvogn. En løsning innenfor dette heter Flexiwaggon, og likner veldig på Mega Swing, men her reiser altså trekkvognen også med toget (Široký, 2012).



Figur 2.17: Skisse av prinsippet Flexiwaggon (Široký, 2012)

2.7.4 Pris på Modalohr- og Cargo Beamer-løsningene

I tabell 2.5 vises ulike kostnader for Cargo Beamer- og Modalohr-løsningene. Prisene er gitt i euro, og en Loading Unit (LU) tilsvarer en fullastet semitrailer på 20 tonn. Første kolonnen viser hvor mye en omlasting koster per LU. Neste kolonne viser hva investeringskostnaden på omlastingsterminalen er per LU. Det betyr at totalprisen på terminalen bestemmes utfra hvor mange LU man ønsker den skal behandle. Kostnaden for vogn og nødvendig utstyr inkluderer togvognen og flaket semitraileren hensettes på. Til slutt kommer ytterligere investeringskostnader for selve terminalen (Klemenčić og Burg, 2018).

Tabell 2.5: Priser for Modalohr- og Cargo Beamer-løsningene (Klemenčić og Burg, 2018)

Løsning	Omlastingskostnad [€ pr LU]	Investeringskostnad per LU [€]	Pris per vogn og nødvendig ekstra utstyr [€]	Kostnad for omlastingsinfrastruktur [€]
Modalohr	80	74.000	385.000	7.700.000
Cargo Beamer	75	67.000	400.000	10-20 millioner

2.8 Automatisering i jernbanesektoren

Jernbanens konkurransekraft kan styrkes uten å måtte gjøre store investeringer i infrastruktur. Dette kan gjøres gjennom innovasjon og teknologi som blant annet automatiserte terminaler. Automatisering sørger for tids- og kostnadsbesparelser på godsterminalen. Derfor er dette et innovasjonsområde det ønskes å arbeides ytterligere med i jernbanesektoren. Ved ytterligere innovasjon på dette området kan det muligens tenkes en mer automatisert jernbanesektor i fremtiden, både innenfor togfremføring og terminalbehandling (Jernbanedirektoratet, 2019a).

Omlastning av lastbærer mellom veg og jernbane kan ikke automatiseres med dagens utforming av omlastingsterminaler (Jernbanedirektoratet, 2019a). En måte å løse dette problemet er bruk av horisontal omlasting som allerede er diskutert i delkapittel 2.7. Derfor diskuteres ikke denne typen automatisering videre her. Den enkleste automatiseringen som kan utføres på godsterminaler per i dag er automatisering av inngangsport til godsterminalområdet for vegfarende kjøretøy, samt innkommende og avreisende tog. Den automatiserte inngangsporten for godsterminalområdet vil kunne effektivisere godsflyten på terminalen og redusere bemanningsbehovet her. (Jernbanedirektoratet, 2019a).

Automatiserte inngangsporter er en godt uttestet teknologi. Teknologien kan også være et førstesteg innenfor informasjonsdeling, som er nødvendig for videre automatisering av flere prosesser på jern-

banen (Jernbanedirektoratet, 2019a). Jernbanedirektoratets innspill til NTP 2022-2033 nevner digitalisering og tilgang på data (informasjonsdeling) som viktige bidragsyttere til videreutvikling av transportsystemet rundt jernbane. Ny teknologi, for eksempel innenfor automatisering, må ha god datatilgang for å fullt kunne utnyttes (Jernbanedirektoratet, 2020b).

Hvor konkurransedyktig jernbane er henger også sammen med hvor pålitelig den er. Påliteligheten kan styrkes ved å minske sannsynligheten for tekniske feil på jernbanen. Dette kan gjøres ved innføring av et digitalt signalsystem, ERTMS. Grunnet at nåværende signalanlegg i Norge begynner å bli utdatert, og dermed snart må fornyes, er det vedtatt at ERTMS skal erstatte de gamle signalanleggene i Norge. ERTMS muliggjør økt kapasitet ved hjelp av mindre tilleggsinvesteringer. I tillegg er ERTMS en forutsetning for en mulig fremtidig automatisk togfremføring og digitalisering av jernbanesektoren (Jernbanedirektoratet, 2020b). ERTMS forventes implementert på alle togstrekninger innen 2034 (Jernbanedirektoratet, 2018).

3 Nasjonal Godstransportmodell

Dette kapittelet tar sikte på å forklare hvordan Nasjonal godstransportmodell, videre benevnt NGM, fungerer på et overordnet nivå og hvilke data den kan gi. NGM, som er utviklet av Transportøkonomisk institutt, TØI, brukes til å analysere virkningene av tiltak transportsektoren, og da spesielt tiltak rettet mot godstransporten (Homleid, Ekhaugen og Dyb, 2016). NGM kjøres i brukergrensesnittet CUBE (Madslien, Steinsland og Grønland, 2015). Typisk utdata er godsstrømmer fordelt på varetype, kjøretøytype og et nettverk bestående av veger, jernbane, luftfrakt og båtruter.

NGM er svært sentral på å skaffe inndata til egne beregninger, som for eksempel kjøretøytekniske detaljer, samt utdata, og da spesielt godsmengder på veg, jernbane og godsterminaler gitt ulike tiltak i samferdselsektoren. Dermed forklares i det følgende hvordan NGM er bygd opp og hvordan den fungerer. I hovedsak forklares de aspekter som ses på som vesentlig i forbindelse med denne masteroppgaven.

3.1 Modellens oppbygning

Utgangspunktet for utdata i NGM er en logistikkmodell som etablerer matriser som forteller hvor mange tonn gods som reiser mellom to soner fordelt på varetype og transportmiddel. Logistikkmodellen er bygget opp av en basismatrise for hver varegruppe, samt kostnadsfunksjoner og LoS-data. Godsstrømmene funnet fra logistikkmodellen vil så fordeles på transportnettverket bestående av lenker og noder i NGM, hvor den transportløsningen som gir de laveste generaliserte transportkostnader velges (Madslien, Steinsland og Grønland, 2015).

LoS-matriser etableres ved hjelp av en nettverksmodell som er ett sett av lenker og noder som forbinder alle sonene i NGM. Lenkene inneholder typisk info om distanse, bompenger og hastighet. Det etableres LoS-matriser for alle kjøretøytyper, og basert på kriterier for vekting av tid og distanse for de ulike kjøretøytypene velges beste reiserute mellom alle soner for hvert kjøretøy. I tillegg er det tatt hensyn til hvilke varegrupper som kan reise med hvilke transportmiddel og -form. Resultatet blir LoS-matriser som angir tid og distanse mellom alle soner for hvert aktuelle transportmiddel og hver aktuelle transportform. LoS-data multiplisert med kostnader fra kostnadsmodellen gir de generaliserte kostnadene mellom alle sonene for de ulike transportmulighetene (Madslien, Steinsland og Grønland, 2015).

Nettutleggingen, altså hvor godsstrømmene fra logistikkmodellen fordeles på de ulike lenkene i NGM, skjer kapasitetsuavhengig (Madslien, Steinsland og Grønland, 2015). Det vil si at det ikke forventes noe forsinkelse på reisetiden med økt trafikkvolum. NGM har en kapasitetsmodul, men denne er ikke aktiv per dags dato (Gjersum, 2021).

3.2 Inndata i NGM

3.2.1 Basismatrisene i NGM

Basismatrisene, som kan sees på som et utgangspunkt for all modellering i NGM, er etablert fra økonomisk statistikk på produksjon og forbruk av varer, samt en varestrømsanalyse. Basismatrisene viser årlig tonnmengde gods som reiser mellom de ulike sonene i NGM for hver varegruppe. Basismatrisene kan fremskrives til ulike beregningsår, ved hjelp av en likevektsfunksjon fra TØI kalt PINGO. Fremskrivningen gjør at man kan se hvilke effekter ulike tiltak i transportsektoren vil ha for fremtiden (Madslien, Steinsland og Grønland, 2015). All inputdata er angitt i samme kroneår, slik at det er kun mengden gods som endres ved fremskrivning. Dette gjør at kostnader

man legger inn med dagens verdier, blir vektet på samme måte for fremtidsscenarioer. For eksempel vil bompenger på 100 kr gi samme effekt både i 2018 og 2050, tross inflasjon.

3.2.2 Varegrupper og typer fremkomstmidler

NGM inkluderer 39 ulike vareslag med sine respektive egenskaper. Det skilles mellom de ulike varene ettersom ulike varer gir ulikt bidrag til de varespesifikke kostnadene som inngår i GTK for frakt av en vare. I tillegg er det en sammenheng mellom hvilke transportmidler som kan frakte hvilke varegrupper. Et eksempel er at tømmer ikke kan reise med varebil. Ettersom 39 varegrupper kan gi svært mye data å behandle, er det vanlig å fordele dem på sju ulike hovedgrupper: Tørrbulk, våtbulk, stykkgoods, fisk, termo, industrivarer, tømmer (Madslie, Steinsland og Grønland, 2015).

Videre er det 11 hovedgrupper av transportmidler, som videre er inndelt i kjøretøytyper. Hvilket kjøretøy som brukes er viktig å ha kjennskap til for å bestemme de kjøretøytypespesifikke kostnadene som inngår i utregningen av GTK. I tabell 3.1 vises eksempler på ulike kjøretøy i NGM, som også er de kjøretøyene som er aktuelle i beregningene som skal gjøres i NGM.

Tabell 3.1: Utdrag fra ulike typer transportmidler i NGM (Madslie, Steinsland og Grønland, 2015)

Transportmiddel	Transportmiddelnummer	Kjøretøynummer	Beskrivelse
Tung lastebil	2	1	Semitrailer (kasse)
	2	2	Semitrailer (container)
	2	3	Tankbil
	2	6	Lastebil med termovogn
Elektrisk tog	7	1	Elektrisk kombitog
	7	4	Elektrisk kombi termotog
Dieseltog	B	1	Diesel kombitog
	B	4	Diesel kombi termotog

Lenkene i NGMs transportnettverk deles inn i ulike lenketyper som for eksempel skipsleder, togbaner med og uten strøm og vegger. Dette gjør at man kan definere hvilke type kjøretøy som kan benytte hvilke type lenker (Madslie, Steinsland og Grønland, 2015).

3.2.3 Terminaler

I visse noder i NGM er det terminaler hvor lasting, lossing og eventuelt omlastning kan skje. I et eget excel-ark kan man redigere info om terminalen, samt opprette nye terminaler dersom man ønsker å se på effekten av nye laste-, losse- og omlastingspunkt. Typisk info for terminalen er hvilke transportmidler den er for, terminalklasse som sier noe om effektivitet på terminalen, samt hvilke lenketyper som har tilgang til terminalen og dermed hvilke transportmidler den er for. Man kan også definere om terminalen kan fungere som starten eller slutten av en transportkjede, altså at det drives produksjon eller mottak på terminalen, eller om kun omlastning kan skje på den (Madslie, Steinsland og Grønland, 2015).

3.2.4 Kostnadsmodellen

Som nevnt i delkapittel 2.6.3 er transportprisen $P(A)$ kompleks å bestemme. Kostnadsmodellen, som er en komponent i NGM, inkluderer imidlertid slike kostnader. Modellen er et Excel-ark som regner de ulike tids- og distansekostnadene og andre aktuelle logistikkostnader for ulike varettyper og kjøretøy basert på inndata fra erfaringsgrunnlag, faktiske priser og ulike tekniske antakelser.

Inndataen kan enkelt endres på, for å se effekten for eksempel av å endre prisen på drivstoff. All inndata er i 2016-kroner. I hovedsak er følgende kostnader implementert i kostnadsmodellen (Grønland, 2018):

Transportmiddelavhengige kostnader

- Kostnader per kilometer og time for en transportenhet
- Kostnader for lasting, lossing og omlastning mellom transportenheter

Vareavhengige kostnader

- Kostnader for lagerhold og bestilling
- Tidskostnader for varer under transport
- Varevederlag i havner

Sistnevnte påvirker ikke kostnadene som brukes i denne rapporten, da gods på sjø ikke undersøkes.

Kostnader per kilometer, altså distansekostnader, for et transportmiddel går i stor grad ut på kostnader til vedlikehold av transportmiddelet, samt drivstoff. I tillegg er det spesifikke kostnader knyttet til et transportmiddel, for eksempel dekkslitasje hos lastebil. Distansekostnaden for lastebil er utregnet med gjennomsnittstall for forbruk med blandet kjøring for aktuelle kjøretøytyper, og gjelder per lastebil. Det forutsettes videre at lastebilene er dieseldrevne. Drivstofforbruket dominerer distansekostnaden for lastebil. For tog er distansekostnaden utregnet basert på en eksisterende sammenheng på energiforbruk som funksjon av brutto togvekt. Kostnadsmodellen tar utgangspunkt i 480 m lange kombitog, a 14 vogner, på Dovrebanen og utfra dette gjelder distansekostnaden for tog per vogn, og ikke per togsett. For en fremtidig infrastrukturavgift på tog, kan kostnadsmodellen inkludere denne i strekningskostnaden. Ellers dominerer vedlikeholdskostnadene for tog (Grønland, 2018).

Kostnad per time, tidskostnadene, for en transportenhet inkluderer lønnskostnader til fører, samt avskrivninger på kjøretøypark og andre årlige utgifter. På lik linje som for distansekostnadene gjelder de for lastebil per lastebil, og for tog per vogn (Grønland, 2018).

Kostnad for lasting og lossing er de kostnadene som løper når en lastbærer fylles med eller tømmes for varer. Disse kalles for terminalkostnader og inkluderer bemanning og utstyr til lasting og lossing, samt transportmiddelets tidskostnader mens det venter på ferdigstillelse av lasting eller lossing. Effektivitet på terminal er derfor viktig inndata ettersom transportmiddelets tidskostnader er inkludert. For lastebiler er terminalkostnadene funnet utfra gjennomsnittlige tall på effektivitet og metodevalg. For jernbane er terminalkostnaden beregnet utfra type gods, terminalstørrelse, utforming og utstyr. I tillegg er det kostnader til skifting, som gjøres for å sette sammen vognene for et togsett. Terminalkostnader har et kostnadsledd som er størrelsesavhengig, og et ledd som er fastpris per forsendelse. Man antar at terminalene opereres med reachstackere, trucker, traller og annet vesentlig utstyr. Utfra tilgjengelig utstyr på de ulike terminalene er det i kostnadsmodellen definert tre terminalklasser som gjenspeiler effektiviteten på terminalen, og da også terminalkostnadene. Det er også mulig å definere nye terminalklasser og da finne tilhørende terminalkostnader dersom man for eksempel vil se effekten av å bygge en ny, mer effektiv, godsterminal (Grønland, 2018).

Omlastning er når selve lastbærer flyttes mellom to transportmidler. Da slipper man kostnader knyttet til tømming og fylling av lastbæreren. Måten kostnadsmodellen implementerer dette på, er å ta utgangspunkt i prisen for én lasting og én lossing for så å gi et fradrag grunnet redusert tidsbruk.

Det gis ikke fradrag i laste- og losseprisen som er gitt per forsendelse, kun den mengdeavhengige prisen. Resultatet blir omlastingskostnader (se formel 3.1). Man kan også ha omlastning der lasten flyttes fra én lastbærer til en annen, men da utgår fradraget (Grønland, 2018).

$$OK_{i,(i-1)} = Lossekostnad_{i-1} + Lastekostnad_i - Omlastningsfradrag \quad (3.1)$$

$OK_{i,(i-1)}$ = Omlastingskostnad mellom to transportmidler

i = Transportmiddel brukt etter omlasting

$i - 1$ = Transportmiddel brukt før omlasting

For de vareavhengige tidskostnadene har det tradisjonelt sett inngått en kapitalkostnad på varen, som regnes utfra godsets egenverdi og en lagerrente. Denne kostnaden angis i kroner per tonn per time og løper dermed så lenge varen er på reise fra avsender til mottaker. I tillegg inneholder visse varer en degraderignskostnad, altså kostnader i forbindelse med forringelse av varer, som inkluderes i de vareavhengige tidskostnadene (Grønland, 2018). Dette samsvarer med teorien om godsets tidskostnad for GTK nevnt i delkapittel 2.6.3. NGM har imidlertid fått en ny måte å regne varens tidskostnad på, som diskuteres nøyere i delkapittel 3.2.5

Andre vareavhengige kostnader kostnadsmodellen inkluderer er en lagerholdskostnad som er tidsavhengig og en ordrekostnad per forsendelse. Lagerholdskostnader er knyttet til tiden godset må stå på lager under transporten, og inkludert her er kostnad til bruk av lagerareal, samt varens tidskostnad. Inni her løper også kapitalkostnaden, som er kostnaden på å behandle en ordre om transport. Ordrekostnaden forventes redusert i fremtiden grunnet økt digitalisering (Grønland, 2018).

Utregning av den totale kostnaden for en godsreise inkluderer altså mange ledd. Dette for å ivareta både hva en vareeier må betale for å få fraktet godset sitt, transportprisen, samt at vareeier har visse krav til fremføring av godset jamfør tidskostnader. Kostnadsmodellen inkluderer ikke kostnader knyttet til variasjon i leveringstid eller sannsynlighet for brekkasje (Grønland, 2018).

Generelt sett beregnes kostnadene for en godsreise på ett transportmiddel, i , mellom to soner som formel 3.2 (Grønland, 2018)(Madslie, Steinsland og Grønland, 2015):

$$GTK_i = D_i \cdot Distanse_i + T_i \cdot \frac{Distanse_i}{Hastighet_i} + LK_i \quad (3.2)$$

GTK_i = Generaliserte transportkostnader for et transportmiddel

D_i = Distansekostnader

T_i = Tidskostnader, både transportmiddel- og vareavhengige

LK_i = Ulike logistikkostnader

De totale kostnadene, GTK , for godsreisen med n ulike transportmidler blir da

$$GTK = \sum_{i=1}^n GTK_i + \sum_{i=2}^n OK_{i,(i-1)} \quad (3.3)$$

Her er ikke bompenger inkludert, ettersom det allerede inkluderes i NGMs nettverksmodell. Formlene er skrevet på en forenklet måte, for å være så generelle som mulig. Inne i LK_i inngår lastning, lossing og eventuelt andre kostnader som hverken er tids- eller distanseavhengige. For transportkjeder som består av flere transportmidler, i , vil kun lastekostnad tilkomme første transportmiddel, og lossekostnad tilkomme siste transportmiddel.

3.2.5 Nye vareavhengige tidsverdier i kostnadsmodellen

Varens tidsverdi er vesentlig å inkludere når man undersøker samferdselsprosjekt som kommer godstransporten til gode. Man kan da se på samfunnsnytt en eventuell tidsbesparelse for gods-transporten kan gi. Dermed er gode grunnlagsdata for tidsverdien vesentlig å ha kunnskap til, slik at det i nyere tid er gjennomført en omfattende verdsettingsstudie på ulike varegrupperes tidsverdi. Det er ønskelig at den nye tidsverdien skal erstatte dagens kapital- og degraderingskostnader som i dag benyttes i NGM, for å kunne gjøre mer korrekte samfunnsøkonomiske analyser ved bruk av NGM. Et problem med de nye tidskostnadene er imidlertid at de ligger mye høyere enn dagens tidskostnader i kostnadsmodellen, slik at modelleringsresultater i NGM blir avvikende. En implementering av de nye tidskostnadene krever en rekalkulering av NGM, som ikke uten videre er problemfritt (Halse mfl., 2019).

Selv om det ikke er kommet ny dokumentasjonsrapport på kostnadsmodellen siden 2018, viser det seg imidlertid at de nye tidsverdiene for varene har blitt inkludert i kostnadsmodellen. Dette er funnet ved egen analyse av inndata i kostnadsmodellen. Dermed er faktisk kapitalkostnader og degraderingskostnadene som det vises til i *Kostnadsmodeller for transport og logistikk - basisår 2016* (Grønland, 2018) utgått til fordel for nye tidsverdier. Det finnes ulik data på de nye vareavhengige tidsverdiene, men NGM benytter seg av de tidsverdiene som er funnet basert på WTP-valgsituasjoner.

3.2.6 Utvalgte transportmiddelavhengige verdier fra kostnadsmodellen

Kostnadene vist i tabell 3.2 og 3.3 er hentet fra dokumentasjonsrapporten til kostnadsmodellen. Ved endring av ulik inndata vil man få andre verdier enn vist i tabellene. For eksempel endring av drivstoffpris vil gi andre distansekostnader, eller endring av terminalkategori vil gi andre laste- og lossekostnader.

Tabell 3.2: Ulike transportmiddelavhengige kostnader som inngår i utregningen av GTK i NGM (Grønland, 2018). Se tabell 3.1 for forklaring til hvilket transportmiddel det er

Kostnadskomponent	Transportmiddel		
	2-1	7-1	B-1
Tidskostnad [kr/time]	456	259	240
Distansekostnad [kr/km]	6,97	2,39	4,82
Lasting/lossing [kr/tonn]	118	189	188
Lasting/lossing [kr/forsendelse]	140	31	31
Omlasting mellom 2-1 og 7-1 eller B-1 [kr/tonn]	57	57	57
Omlasting mellom 2-1 og 7-1 eller B-1 [kr/forsendelse]	171	171	171

For å finne kostnaden per tonn på tidskostnad og distansekostnad for transportmiddelet, deler man på det antall tonn nyttelast transportmiddelet frakter. I kostnadsmodellen finnes det typiske gjennomsnittsverdier på nyttelast på de ulike transportmidlene som man kan bruke om man ikke kjenner til hvor mye et transportmiddel er lastet.

3.2.7 Utvalgte vareavhengige tidskostnader fra kostnadsmodellen

Det finnes ulike verdier på de vareavhengige tidskostnadene utfra hvordan de er utregnet. Det presenteres her verdiene basert på WTP-undersøkelser, ettersom det er disse verdiene som brukes i NGM.

Tabell 3.3: Vareavhengige tidsverdier funnet fra WTP-undersøkelser for utvalgte varetyper (Halse mfl., 2019)

Varetype	Pris (WTP) [kr/tonntime]
Fersk fisk	97,7
Frossen fisk	5,7
Matvarer	14,8
Tømmer	0,4

3.3 Scenarier i NGM

I NGM ligger det et basisscenario for 2018, samt referanseverdier for 2030 og 2050. Referanseverdiene har all inndata lik som i 2018, men godsmengdene er fremskrevet ved hjelp av PINGO. For å se effekter av tiltak som gjøres i transportsektoren, må disse modelleres for 2030 og 2050 ettersom 2018 er et basisår, hvor inndataen er som samferdselsituasjonen var i 2018. Ettersom basisåret er 2018 vil dette også fungere som dagens situasjon selv om modelleringene blir utført i 2021. Man modellerer effekter av tiltak ved å lage et nytt scenario som kopierer inndataen fra en referanseverdi. Videre endres inndataen utfra hvilke tiltak som er gjort. Resultatet blir et nytt scenario med nye godsstrømmer. Sammenlikning av godsstrømmene i det nye scenariet og i referanseverdien kan gjøres ved hjelp av GIS-verktøy i CUBE, ved å eksportere godsstrømmene til andre GIS-program, eller analyse av alle resultatfilene som produseres i en modellering.

Det må opprettes et nytt scenario i NGM for hvert årstall. Det vil si at dersom man vil se på effekten av et samferdselstiltak i 2030 og 2050, må denne effekten modelleres for begge år.

3.4 utfordringer med NGM

Generelt sett er NGM ypperlig for å gi en pekepinn på godsmengder, og hvordan samferdselstiltak kan påvirke godsflyten. Det inngår imidlertid en del utfordringer som sannsynligvis vil bidra til usikkerheter og avvik i utdata i forhold til faktisk mengde.

For det første ligger Fv700 inne med en lenkehastighet på 20 km/t. Dette resulterer i at det i følge NGM omtrent ikke reiser noe gods langs denne traseen. Dette avviker fra erfaringsdata og trafikktegninger fra Statens vegvesen. NGM gjenspeiler derfor på ingen måte godsstrømmene langs Fv700. En mulig grunn til at hastigheten er satt til 20 km/t kan være at dette resulterer i mer realistiske godsstrømmer på andre veger i Trøndelag Sør.

En viktig svakhet i NGM gjelder hvor realistisk man klarer å prognostisere godstrafikkmengdene på de ulike lenkene i 2030 og 2050. En ting er hvor bra statistisk grunnlag fremskrivningsmodellen PINGO har, en annen er hvordan veg- og jernbanenettet endres i fremtiden. I NGM ligger det ikke inne planlagte vegprosjekt og bompenger, slik at veg- og jernbanenettet forblir likt for fremtiden som i dag. Det er imidlertid fullt mulig å gjøre endringer i nettverket selv, men da i stor grad lokale endringer.

Som nevnt tidligere er nettutleggingen kapasitetsuavhengig både for veg og jernbane. Dette gjør at man ikke får gjenspeilet hvordan eventuelt flere lastebiler på en veg kan sørge for redusert hastighet

for alle lastebilene og dermed økt reisetid. En inkludering av dette ville gjerne sørget for andre transportmønstre- og kostnader. I tillegg er en mulig konsekvens at NGM angir større godsmengder på jernbane enn det som egentlig er kapasitetsmessig mulig.

4 Togteknisk og vegteknisk data

I det følgende presenteres viktige togbaner og veger i masteroppgavens fokusområde, samt ulike aspekter som ses på som vesentlig til godsstrømsanalysen og diskusjonen om forutsetninger og fordeler.

4.1 Eksisterende godsterminaler i Trondheim

I Trondheim er det to godsterminaler, Brattøra og Heggstadmoen. I Oslo er Alnabru gjeldene godsterminal (Bane NOR, Ukjent år[b]). For Trondheimsregionen er det under utredning et nytt logistikknutepunkt, Torgård terminal. Denne skal kunne øke terminalkapasiteten i Trondheim. Torgård vil fungere som gjeldende godsterminal, men Heggstadmoen håndterer bilvogner og vognlast. Brattøra terminal vil da legges ned. Torgårdterminalen er fremdeles i en utredningsfase, og det er uvisst når, eller hvis, terminalen eventuelt skal bygges. En viktig grunn er negativ samfunnsøkonomisk netto nåverdi, mye grunnet at kapasiteten ved Heggstadmoen er høyere enn først forventet. Videre er det planlagt at Torgård skal bygges på konvensjonelt vis med vertikal om-lasting med bruk av truck eller reachstackere. Effektiviteten vil imidlertid være høyere enn ved dagens terminaler (Jernbanedirektoratet, 2019c). Jernbanedirektoratet har også i nylig tid sett på en mulighet hvor utvidelse av Heggstadmoen erstatter den planlagte terminalen på Torgård. Videre ønsker de at fremtidig planlegging for et logistikknutepunkt bør ta utgangspunkt i Heggstadmoen (Jernbanedirektoratet, 2020a).

Tidligere har terminalkapasiteten på Brattøra terminal vært begrensende for godstransport på jernbane til og fra Trøndelag. I 2018 åpnet imidlertid avlastningsterminalen på Heggstadmoen, noe som har gitt tilstrekkelig kapasitet. Å ha to terminaler i samme by gir imidlertid økte terminalkostnader grunnet at man krever dobbelt opp med bemanning og løfteutstyr (Jernbanedirektoratet, 2019a). Årlig kapasitet på Brattøra og Heggstadmoen varierer utfra antall godstog på jernbanen, samt laste- og lossekapasitet på både avgangs- og ankomstterminal (Franzen, 2021). Kapasitet kan imidlertid anslås til omlag 200.000 TEUs, hvor Heggstadmoen står for 60.000-100.000 TEUs. I 2017 ble omlag 117.000 TEU behandlet på terminalene, og dagens samlede terminalkapasitet er forventet å være tilstrekkelig til minst etter 2040 (Jernbanedirektoratet, 2019c). Men selv om Trondheim nå i teorien har økt terminalkapasitet, er det kapasiteten i de markedsinteressante tidene, såkalte *peak hours*, som er den viktigste. Dette handler om å ha rikelig med kapasitet innenfor visse tidsrom hvor det er flere togankomster og -avganger. En slik kapasitet mangler i stor grad også i dag på terminalene i Trondheim (Franzen, 2021).

Når et fullt godstog ankommer Trondheim, kan det i dag som nevnt losses, lastes og klargjøres for retur fra Trondheim på 2,5 til 3 timer. Det er imidlertid vanlig at et tog ankommer Trondheim på morgenen, og drar igjen på kvelden (Franzen, 2021).

4.2 Viktige jernbanestrekninger i Region Trøndelag Sør

Dovrebanen, sammen med Hovedbanen, forbinder Trøndelag og Østlandsområdet på jernbanesiden. I stykkgodsmarkedet mellom Trøndelag og Østlandsområdet har Dovrebanen en markedsandel på 53 % av stykkgodstransporten foran vegtransport (Jernbanedirektoratet, 2019a). Rørosbanen, som også er en alternativ trasé mellom Trøndelag og Østlandsområdet, tar imidlertid ingenting av den regulære godstransporten mellom de to respektive landsdelene. Her er det heller systemtog med tømmertransport som dominerer (Nicolaisen, 2020).

4.2.1 Dovrebanen

Dovrebanen er navnet på jernbanestrekningen som går mellom Eidsvoll og Trondheim. Sør for Eidsvoll og mot Oslo er Dovrebanen forbundet til Gardermobanen og Hovedbanen. Dovrebanen har de siste årene vært utsatt for mye ekstremvær som har resultert i ras og utglidning av banens underbygging. Det pågår nå en mangeårig oppgradering på og rundt banen for å øke dens robusthet. Dovrebanen er elektrifisert (Bane NOR, Ukjent år[a]). Videre er det laget en beredskapsterminal i Støren hvor omlastning kan skje fra bane til veg ved lengre driftsstans (Svingheim, 2016).

Dovrebanens konkurransevne mot veg trues stadig mot vegutbedringer langs E6 og Rv3. Dermed planlegges det i nær fremtid å øke Dovrebanens konkurransevne med kapasitetsøkende tiltak som flere kryssningsspor, samt at både nye og eksisterende kryssningsspor er tilpasset fremtidige tog lengde på 600 m og ikke dagens tog lengde som ligger på omlag 450 m. I tillegg vil et planlagt dobbeltspor på hele strekningen Oslo-Lillehammer være behjelpelig på banekapasiteten (Jernbanedirektoratet, 2019a).

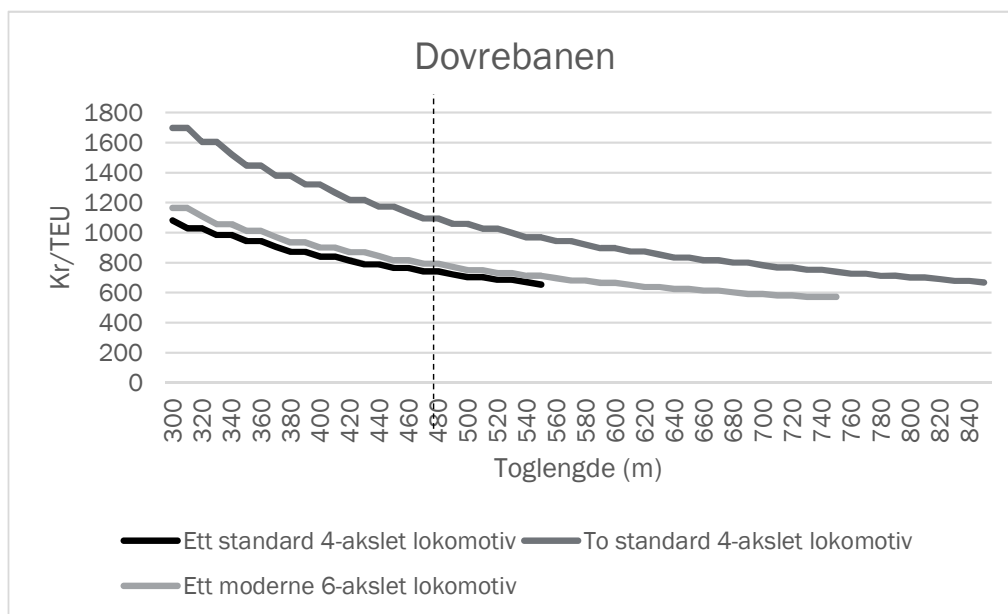
En økning av tog lengde vil sørge for større etterhengt vekt for hvert togsett, noe som krever lokomotiver med økt trekraft. Figur 4.2 viser hvor lange tog ulike lokomotiver kan trekke og enhetsprisen per TEU. På Dovrebanen er det regnet ut at den mest lønnsomme driftsløsningen ved forlengelse av tog er et seksakslet lokomotiv på 600 m, men helst for lengder opp mot 650 m for å utnytte all trekraften i det seksakslede lokomotivet. Kryssningssporene som bygges eller oppgraderes er i hovedsak ikke tilpasset tog lenger enn 600 m, men unntaksvis kan visse tog på 650 m kjøres (Jernbanedirektoratet, 2019a). Bruken av seksakslede lokomotiver gjør at mulig etterhengt vekt blir 1400 tonn (Drösemeyer, 2017). Dagens togsett har en totalvekt på omlag 1000 tonn (Franzen, 2021).

Seksakslede lok kan i teorien ta tog lengder opp til 740 m. Dette krever en betydelig mengde tiltak, og er dermed ikke samfunnsøkonomisk lønnsomt. Ved å kjøre to sammenkoblede fireakslede lokomotiver, må tog lengden være 890 m for å være lønnsomt gitt kostnad per TEU (Jernbanedirektoratet, 2019a). Gitt at man bygger ut for en absolutt lengde på 650 m er det sannsynligvis uaktuelt å bruke to fireakslede lokomotiver.

Av de regelmessige avgangene på Dovrebanen mellom Alnabru og Brattøra/Heggstadmoen kjøres det i dag seks kombitog i hver retning, hvorav fire kjøres av CargoNet og to av Green Cargo. Disse går fem dager i uken og er vist i tabell 4.1. Tabellen tar utgangspunkt i rutetabeller fra CargoNet, Green Cargo, samt Bane NOR sin rutetermin R21. Utdrag fra ruteterminen for Dovrebanen er vist i vedlegg A. I tillegg går det to ganger i uken et biltog på strekningen Drammen-Trondheim, men slike tog er ikke interessante for denne masteroppgaven. Dovrebanen har en retningsbalanse på 55% av godset nordover og resterende sørover (Nicolaisen, 2020). En skjev retningsbalanse gjør at en del lastbærere må sendes tomme i retur fra Trondheim mot Oslo. Dette er ikke logistikkmessig gunstig, da tomme containere tar opp plass til potensielle varer (Melum, 2021).



Figur 4.1: Forenklet kart over Dovre- og Rørosbanen



Figur 4.2: Enhetspris i kr/TEU for ulike toglengder og lokomotiv (Jernbanedirektoratet, 2019a)

Tabell 4.1: Rutetider for regulære kombitogavganger på Dovrebanen

Tognr.	Fra	Til	Avgang	Ankomst	Kommentar
4810	Brattøra	Alnabru	07:39	16:37	
5702	Brattøra	Alnabru	09:02	18:37	
5734	Brattøra	Alnabru	11:07	20:07	Kommer fra Bodø
4812	Heggstadmoen	Alnabru	19:22	03:35	
5708	Heggstadmoen	Alnabru	21:24	05:18	
5730	Brattøra	Alnabru	23:32	08:07	
5731	Alnabru	Brattøra	09:42	18:41	
5707	Alnabru	Heggstadmoen	17:12	01:35	
		Brattøra		02:38	Via Heggstadmoen
4811	Alnabru	Heggstadmoen	18:12	02:26	
		Brattøra		03:19	Via Heggstadmoen
4813	Alnabru	Heggstadmoen	20:42	04:35	
		Brattøra		05:18	Via Heggstadmoen
5709	Alnabru	Heggstadmoen	21:12	05:28	
5735	Alnabru	Brattøra	22:42	07:12	Videre til Bodø

4.2.2 Rørosbanen

Rørosbanen er en alternativ strekning til Dovrebanen, og går fra Hamar til Støren via Østerdalen og Røros. Den har forbindelse til Solørbanen som går over Kongsvinger og til Sverige. Rørosbanen er dieseldrevet. For godstransport brukes Rørosbanen til tømmer- og flistransport, og ellers som alternativ rute til Dovrebanen ved driftsstans der. Rette, slake strekk dominerer på Rørosbanen, noe som kan gi høyere fremføringshastigheter. Dette gjelder imidlertid kun sør for Røros. Mellom Røros og Støren består banen av krappere kurver, samt mer stigninger, som sørger for lavere hastighet. Kapasiteten på Rørosbanen er begrenset, grunnet lang avstand mellom kryssningsspor. I tillegg er det ikke fjernstyring av signalanlegg mellom Røros og Støren som også virker negativt på kapasiteten (Svingheim, 2018).

Til tross for stigningene mellom Røros og Støren, er disse uansett mindre enn på Dovrebanen. Dette

gjør at man i teorien kan trekke lenger tog på Rørosbanen, enn på Dovrebanen. Et problem her er imidlertid at for godstransport på strekningen Oslo-Trondheim, er det strekninger før og etter Rørosbanen hvor stigningen er såpass høy at man mister fordelene de slake stigningene Rørosbanen har. Spesielt ved Heimdal er det stigninger tilsvarende de bratteste langs hele Dovrebanen (Civitas, 2012).

Rørosbanens høyeste punkt er 350 m lavere enn på Dovrebanen, som skulle tilsi reduserte distansekostnader grunnet færre stigninger og at Rørosbanen var den foretrukne traséen mellom Oslo og Trondheim. Dette er imidlertid ikke tilfellet ettersom dieseldrift på tog er vesentlig dyrere enn elektrisk drift, samt at diesellokomotiv sliter med å holde hastigheten i stigninger. Elektrifisering, bygge fjernstyring og flere kryssningsspor vil imidlertid bedre Rørosbanens konkurransevne ettersom man løser problemene nevnt i dette delkapittelet. Utbygging av Rørosbanen støtter også lokal skognæring i Innlandet med at tømmertransport blir billigere, slik at tømmeravviklingen bli mer konkurransedyktig (Civitas, 2012). Det er også ytret et behov om regulære kombitogavganger langs Rørosbanen som sørger for mottak og utsendelse av varer for lokale næringer.

Å styrke Rørosbanens konkurransevne, spesielt gjennom elektrifisering og fjernstyring, gir ikke bare bedre forhold for lokale næringer langs banen, men også en betydelig kapasitetsøkning for jernbanetransport mellom Østlandet og Trøndelag. Dette fordi godstransport i nordlig retning kan kjøre på Rørosbanen, og på Dovrebanen i sørlig retning, nesten som om man har dobbeltspor (Civitas, 2013). Videre blir godstransport på tog mer pålitelig ved at det er et fullverdig alternativ til trasé ved driftsstans på én av banene. Dermed kan varer med høy tidsverdi, som for eksempel sjømat, tryggere transporteres på bane (Civitas, 2013).

Planlegging av elektrifisering av Rørosbanen er påbegynt i 2019, uten noen bestemt dato for byggestart. Innføring av ERTMS er planlagt innen 2024, slik at hele Rørosbanen bli fjernstyrt. Dette hjelper på avviklingen av togtrafikken på Rørosbanen (Jernbanedirektoratet, 2018).

4.3 Veger i Region Trøndelag Sør

Denne masteroppgaven ønsker å se på hvordan nye, lokalt plasserte omlastingsterminaler kan bedre konkurransevilkårene til jernbane mot veg. Det kan imidlertid ikke neglisjeres at vegutbyggingsprosjekter i masteroppgavens fokusområde kan øke vegens konkurransevne på tross av mer effektive godsterminaler. Jernbanedirektoratet nevner i sin *Godsstrategi - NTP 2022-2033* at utbygginger som styrker jernbanens konkurransevne bør skje raskt, grunnet vegens stadige sterkere konkurransevne. Infrastrukturavgift på jernbane, samt økende bruk av modulvogntog er ytterligere faktorer som styrker vegens konkurransevne. Modulvogntog er tillatt både på Rv3 gjennom Østerdalen og på E6 mellom Trondheim og Oslo (Jernbanedirektoratet, 2019a). I det følgende presenteres viktige veger, samt tiltak som forventes utført på veg.

De to vegene som det antas vil bli mest berørt av økt jernbanetransport er Rv3 og E6. Dette er fordi jernbanetransporten per i dag frakter kombigods uten stopp på strekningen Oslo-Trondheim. Dermed er det gods på veg som kjører mellom tilsvarende områder som del av ruten sin som vil være aktuell for overførsel fra veg til bane. Ved bygging av ny terminal i region Trøndelag Sør, vil sannsynligvis de samme kravene gjelde, ettersom godset uansett ikke kan omlastes andre steder på strekningen mellom ny terminal og Alnabru.

Mesterparten av gods som reiser på E6 sør for Ulsberg skal som regel vestover eller kommer vestfra, mens gods på Rv3 trafikkerer i hovedsak strekningen mellom Østlands- og Trøndelagsområdet (Jernbanedirektoratet, 2019a). I følge NGM reiser gods på veg mellom disse to områdene utelukkende på Rv3 gjennom Østerdalen.

4.4 Planlagte samferdselstiltak på veg

4.4.1 Vegutbygging

Både Rv3 og E6 i Trøndelag er i stor grad 2-felts veger uten midtrekkverk. Nye Veier skal bygge ut E6 både i Trøndelag og i Gudbrandsdalen (Nye Veier, Ukjent år). I tillegg er det åpnet oppgraderte vegstrekninger på E6 i Soknedal, samt Rv3 mellom Elverum og Løten, som vil bidra til redusert reisetid på veg. Ettersom godsreiser mellom Trøndelag og Østlandet i stor grad velger Rv3 gjennom Østerdalen, er det spesielt interessant å se på utbyggingen på E6 i Trøndelag i forbindelse med denne rapporten, og ikke utbyggingen på E6 i Gudbrandsdalen.

Vegstrekningen mellom Ulsberg, hvor Rv3 møter E6, og Melhus skal bygges i stor grad med motorvegstandard og fartsgrense opp til 110 km/t. Nye Veier står for planleggingen, med unntak av E6 ved Soknedal som allerede er åpnet. Det er forventet at strekningen står ferdig i 2028, og da starter også en 15 år lang etterskuddsvis bompengedekning. Dermed forventes strekningen å være uten bomstasjoner i 2050. Vedlegg B viser den nye traseen, samt hvor bompengedekningene vil stå. Tabell 4.2 viser forventede bompengesatser, eksisterende bompengedekning i Soknedal og lengdeendring mellom ny og eksisterende strekning. Kilde til bompengesatsene og strekningsdata ligger i vedlegg C.

Tabell 4.2: Planlagte bompengedekninger på ny E6 og eksisterende bompengedekning i Soknedalen, samt lengdeendring mellom ny og gammel E6

Strekning	Bompenger tunge kjøretøy [2017-kr]	Lengdeendring [km]
Melhus-Kvål	66	0
Kvål-Gyllan	86	-1
Koroporalsbrua-Gyllan	86	1
E6 Soknedal	80	-1
Ulsberg - Vindåsliene	54 + 54 (innkreving på to punkter)	-3
Sum	426	-4

4.4.2 Modulvogntog

Mens trekkbil og semitrailer kan ha en lengde på 17,5 m og lastebil med henger 19,5 m, kan modulvogntog være 25,25 m (Spurkeland, 2021b). Dette gjør at et modulvogntogs kapasitet tilsvarer 1,2 til 1,5 vanlige vogntog. Bruken av vogntog vil dermed være bra for trafikkavviklingen grunnet færre kjøretøy må til for å transportere samme mengde gods. Et større kjøretøy gir høyere distansekostnader, men grunnet økt kapasitet vil det være lavere kostnader per tonnkilometer, slik at transportører som bruker modulvogntog viser til besparelser i transportkostnader. Videre vil bruken av modulvogntog også gi tilsvarende lavere utslipp per tonnkilometer. Modulvogntog er imidlertid kun tillatt på visse vegstrekninger i Norge, og vil kun være lønnsomt å bruke på strekninger av god standard grunnet størrelsen (Wangness mfl., 2014).

At modulvogntog er mer kostnadseffektive enn andre vogntog, og at de i stor grad har tilsvarende konkurransefordeler som andre vegfarende kjøretøy, gjør at modulvogntog kan bli en voksende konkurrent til jernbane. Modulvogntog er imidlertid ikke like fleksibel som andre vegfarende kjøretøy ettersom det er begrensninger på hvilke strekninger de kan kjøre. Statens vegvesen driver imidlertid og åpner for flere tillatte strekninger.

4.4.3 Økt drivstoffpris

Drivstoffprisen henger tett sammen med distansekostnadene til et kjøretøy (Grønland, 2018). For vegtransport består drivstoffprisen av en CO_2 -avgift, vegbruksavgift og drivstoffprisen i seg selv. Det betales også moms på 25 % av denne summen. Ved økte drivstoffpriser bør dette dermed gi jernbanetransport et konkurransefortrinn til vegtransporten ettersom i hvert fall elektriske jernbaner ikke vil merke denne kostnadsøkningen. I følge kostnadsmodellen i NGM betaler ikke dieseltog avgifter på drivstoffet. Det er forespeilet en økt CO_2 -avgift til 2030, slik at aktuell drivstoffpris kan bli 19,89 2018-kr i 2030. En detaljert utregning finnes i vedlegg D.

4.5 Utslippsdata på veg og jernbane - miljøbelastning

Å overføre gods fra veg til sjø og bane er som nevnt et virkemiddel for å redusere utslippet i transportsektoren. Dette er imidlertid ikke nok for å nå satte reduksjonsmål i utslipp. Teknologiske løsninger som bedrer utslippet til vegtransporten må dermed utvikles. Hva disse vil bli er fremdeles usikkert ettersom løsningene enten er for dyre, bærekraften faktisk ikke bedres eller at teknologien ikke er fullt utviklet. Typiske løsninger for mindre utslipp kan være elektrisk motor ved hjelp av batteri, eller forbrenningsmotor ved bruk av hydrogen. Kjøremønstre kan også endres, og et eksempel på dette er *platooning*, hvor flere vogntog kjører i rekke og automatisk følger vogntoget foran seg. Da kan man i teorien ha én sjåfør på flere vogntog. Det må påpekes at dersom vegtransporten blir tilnærmet utslippfri, vil banetransport miste sin fordel når det gjelder utslipp (Kristensen, 2019).

I tabell 4.3 vises CO_2 -utslipp for bil- og togtransport av gods. Tallene trenger ikke å stemme fullstendig med hva en beregning gjort i 2021 ville ha gjort ettersom de er utarbeidet i 2014. Videre ser man at fremskrivingen ikke gir noe bedring i utslipp for vegtransporten, til tross for at man forventer en bedret kjøretøypark. En viktig grunn er at det er vanskelig å spekulere i fremtidens kjøretøypark (Madslie og Kwong, 2015). Tabell 4.4 viser utslippsdata for 2018, 2030 og 2050, og er funnet ved lineær interpolasjon av verdiene i 4.3. Viktig å merke seg at at ettersom togtransport forventes å ha mindre CO_2 -utslipp i fremtiden, vil økt togtransport fremover mot 2050 nødvendigvis ikke gi tilsvarende vekst i CO_2 -utslipp. Utslippsberegninger for sammenlikning av klimaavtrykket til tog og lastebil bør imidlertid ses i en større helhet, som for eksempel gjennom en livssyklusanalyse.

Tabell 4.3: CO_2 -utslipp for lastebil og tog basert på gjennomsnittlig kjøretøypark og mengde last (Madslie og Kwong, 2015)

Transportmiddel	CO_2 -utslipp [g/tonnkm]		
	2014	2028	2050
Lastebil	121	121	121
Tog	10	7,8	5,8

Tabell 4.4: Justert CO_2 -utslipp ved hjelp av lineær interpolasjon. Gir utslippet i 2018, 2030 og 2050

Transportmiddel	CO_2 -Utslipp [g/tonnkm]		
	2018	2030	2050
Lastebil	121	121	121
Tog	9,4	7,6	5,8

Når det gjelder utslipp av partikler som NO_x , PM, HC og CO er disse kraftig redusert med innfasing av Euroklasser med stadig strengere krav. Sammenliknet med lastebiler med Euroklasse I, har dagens Euroklasse VI redusert partikkelutslippet til et mye lavere nivå. For eksempel er NO_x -utslippet redusert med omlag 98% (Norges lastebileier-forbund, 2016).

5 Metode for godsstrømanalyser

En del av denne masteroppgaven er å vise tall på mulig overførsel av gods fra veg til jernbane ved bruk av en ny, lokal godsterminal. Det er i det følgende presentert to alternative metoder hvor førstnevnte utelukkende gjøres i NGM, og andre gjøres mer med egne beregninger basert på data funnet i NGM. Første metode skal gi svar på hvor mye gods som kan omlastes ved ny terminal, mens andre metode forteller mer om hvilket potensial det finnes for mer overførsel av gods fra veg til jernbane, og da Dovrebanen spesielt. For de nye terminalene forutsettes det horisontal omlasting, og for å få konkrete regneeksempler brukes Cargo Beamer-løsningen. Denne brukes ettersom den enkelt tillater hensetting av lastbærere uten at tog er til stede, og at pålastning skjer automatisk når tog ankommer uten at noe personell eller lastebilsjåfør må kjøre lastbærer ombord på toget. Det er imidlertid ikke gitt at det er Cargo Beamer-løsningen som må brukes.

Videre presenteres det hvordan det skal finnes godsmengder på de eksisterende terminalene i Trondheim. Til slutt vises det hvordan et regneeksempel for utvikling av GTK over en reisestrekning skal utføres.

Ettersom det fokuseres på intermodal transport, ekskluderes vognlast og systemlast i beregningene, og det ses kun på kombilast.

5.1 Mengde overført gods ved ny terminal

I NGM kan man legge til nye terminaler som en del av det eksisterende node- og lenkenettverket, og i tillegg sette terminalkostnadene til ønsket verdi. Metoden går kort fortalt ut på å bruke kostnadsdata fra Cargo Beamer inn i kostnadsmodellen, og angi denne kostnaden til en godsterminal i Støren og Berkåk. Det vil sannsynligvis bare bygges én terminal på et av disse stedene, men å modellere begge to kan gi verdifull informasjon om hvilken som kommer til å ta i mot mest gods. Slik info kan brukes til valg av plassering for den nye godsterminalen. Videre vil man få info om hvor mye gods en ny terminal kan få overført fra veg til jernbane. Detaljert fremgangsmåte er vist i vedlegg E.

5.2 Godsoverføringspotensial

Det er ønskelig å se på et generelt godsoverføringspotensial, altså hvor mye gods som potensielt kan fraktes på Dovrebanen. Dette kan vise hvor mye mer gods Dovrebanen har kapasitet til å frakte etter at man har tatt hensyn til allerede forventet vekst i godstransport på Dovrebanen. Man kan se på godsoverføringspotensialet som ubenyttet kapasitet på Dovrebanen, og denne regnes ut som differansen mellom utregnet kapasitet på jernbane og godsmengde som allerede reiser på jernbanen. Et positivt godsoverføringspotensial betyr at man kan få overført ytterligere mengder gods fra veg til Dovrebanen helt til man har fylt opp banekapasiteten. Dette kan da gi reduksjon i godstransport på veg. Et negativt godsoverføringspotensial betyr at Dovrebanen ikke vil ha kapasitet til å frakte selv de forventede godsmengdene.

Denne metoden tar dermed for seg hvordan finne kapasitet på jernbane, og hvordan finne data på godsmengde på både jernbane og utvalgte vegstrekninger. Da man kan regne på ubenyttet jernbanekapasitet, samt se på reduksjon av gods på visse vegstrekninger gitt at det finnes en ubenyttet jernbanekapasitet.

Ved et positivt godsoverføringspotensial kan man for eksempel anta at den ytterlige godsmengden Dovrebanen kan romme, omlastes ved den nye terminalen. Videre antas det da at godset som er

aktuelt for omlastning fra veg til bane på ny godsterminal reiser på jernbane mellom Oslo og den nye terminalen uten stopp. Godstransport på veg som inkluderer strekningen mellom Osloområdet og området rundt den nye terminalen som en del av sin reiserute, er dermed det godset som er aktuelt for omlasting fra veg til bane. Det er også selvsagt mulig å benytte det utregnede godsoverføringspotensialet ved de eksisterende terminalene i Trondheim, gitt at det er tilstrekkelig terminalkapasitet der.

Basert på litteraturstudie finnes det ikke et konkurransegrunnlag for bruk av Rørosbanen per i dag, og dermed gjøres beregningene kun for Dovrebanen. Samme fremgangsmåte kan imidlertid brukes på Rørosbanen dersom man antar fremtidig forbedret infrastruktur som elektrifisering og flere krysningsspor på Rørosbanen.

Vanligvis tar man inn retningsbalanse der man ser på hvor mye gods reiser i hver retning, og gjør beregninger utfra det. Ettersom datagrunnlaget inneholder en del usikkerheter grunnet at det er data fra modellering i NGM, samt en del antakelser, ses det på total godsmengde uten retningsbalanse. En viktig grunn er også at tall retningsbalansen kan være med en gitt usikkerhet. Alle resultater vil dermed vise summen av gods for begge retninger på en strekning.

5.2.1 Tilgjengelig kapasitet på Dovrebanen

Å regne på tilgjengelig banekapasitet på en togstrekning er en stor prosess, og tar inn mange jernbanetekniske elementer. I tillegg må man ta hensyn til at det er kapasitet i prime-time som må bli undersøkt. Derfor gjøres det forenklinger og det blir regnet på tilgjengelig kapasitet som funksjon av antall togavganger og deres lengde. Da får man en idé på hvilken kapasitet dette vil gi, men ikke om det faktisk er plass til det antall togavganger man forutsetter i kapasitetsberegningen. En slik måte å beregne kapasitet på vil imidlertid kunne angi antall togavganger som trengs for å tilfredsstille dimensjonerende godsmengde. Denne metoden å finne kapasitet på samsvarer med Jernbanedirektoratets *Standarder for kapasitetsplanlegging* som tar utgangspunkt i at dimensjonerende mengde togavganger skal gjenspeile godsmengden på bane i dimensjonerende retning. Dimensjonerende retning vil være den retningen på en togstrekning hvor mest gods reiser (Nielsen, 2017). I utregningene her vil det som nevnt ikke være en dimensjonerende retning, men det ses heller på summen av godset i begge retninger på en strekning.

For at den nye omlastningsterminalen skal være lønnsom forutsettes det horisontal omlastning. For utregningene av kapasitet inkluderes Cargo Beamer-løsningen, og det antas at togene med denne løsningen kjører strekningen mellom Alnabru og ny terminal. I første omgang antas det ingen stopp mellom de to terminalene. Videre inkluderes godstog som allerede trafikkerer strekningen Alnabru-Trondheim, da også inkludert Alnabru-Trondheim-Bodø-toget, i kapasitetsberegningene. To typer togsett antas altså å trafikkere det aktuelle tognett. Utfra om det er togsett med Cargo Beamer-løsningen eller dagens løsning, endres inndata i formlene ovenfor tilsvarende. Hvilken type lasting, enten horisontal eller vertikal, som skjer ved terminalene tas ikke hensyn til. En begrunnelse for alle forenklingene er at det regnes på et potensiale for godsoverføring, og ikke i detalj hvor mye som faktisk vil kunne bli overført ved de ulike terminalene. Dette er meningen å finne i metoden i delkapittel 5.1. En slik detaljutregning ville uansett krevd en dypere forståelse for blant annet hvordan fremtidig godsterminalstruktur faktisk vil bli i Trøndelag, kapasitetsøkende tiltak på jernbanen og da inkludert om det vil bli mer satsing på Rørosbanen, samt et grundig og sikkert datagrunnlag for fremtidige godsmengder og deres transportkostnader. Sistnevnte kan NGM gi svaret på, men det kreves en validering av NGM av høyere grad enn hva som er blitt gjort i denne masteroppgaven. I tillegg kan muligens ikke alle togtyper stoppe ved den nye terminalen ettersom mange horisontale omlastingsmetoder krever egnede vogner og terminalstruktur.

Følgende formler brukes til kapasitetsberegningen. Disse er basert på *Standarder for kapasitetsplanlegging* (Nielsen, 2017).

$$\text{Antall TEU pr tog} = \frac{\text{Toglengde} - \text{loklengde}}{\frac{\text{Vognlengde}}{\text{TEU pr vogn}}} * \text{Utnyttelsesgrad} \quad (5.1)$$

$$\text{Nyttelast pr tog [tonn]} = \text{Antall TEU pr tog} * \text{vekt TEU} \quad (5.2)$$

$$\text{Årlig godsmengde pr tog [tonn]} = \text{Nyttelast pr tog} * 240 \text{ virkedøgn} \quad (5.3)$$

$$\text{Årlig kapasitet [tonn]} = \sum_{i=1}^n \text{Årlig godsmengde pr tog}_i \quad (5.4)$$

i = Ett togsett

n = Antall tog pr dag totalt i begge retninger

Mye av inndataen til formlene er basert på erfaringsdata og antatte verdier fra ulike litteratur. Ofte får man angitt antall TEU per tog direkte, og da brukes dette tallet fremfor formel 5.1. Ut fra formlene ovenfor ser man at kapasiteten er avhengig av variabler som fremtidig toglengde, fyllingsgrad av lastbærere, antall togavganger per dag og type togsett. Videre vil også utnyttelsesgraden, altså hvor mye av togsettets fulle lengde som blir benyttet, påvirke resultatet. Ettersom det ønskes å se på maksimalt mulig kapasitet er utnyttelsesgraden satt til 100%. Fyllingsgraden settes i alle scenarier til 9,5 tonn per TEU. Hvordan utregningene er gjort, samt inndata vises detaljert i vedlegg F.

Når det gjelder kapasitet på Dovrebanen er det vanskelig å si hvor mange tog man kan forvente i fremtiden. Det er derfor laget fire ulike scenarier på hva kapasiteten kan bli. På den måten får man ihensyntatt noen av de ulike variablene for kapasitetsutregningen. Scenariene tar utgangspunkt i at det ikke vil være plass til særlig mange flere togavganger i fremtiden, men heller at toglengde kan økes. Scenarier for gjeldene kapasitet i 2030 og 2050 er som følger og tar hensyn til ulike toglengder og antall avganger per dag og type togsett:

- K0* : Basisscenario: Konvensjonelle togsett a 48 TEU med dagens frekvens a 12 avganger
- K1* : Dagens togsett a 48 TEU med dagens frekvens a 12 avganger + fire avganger med Cargo Beamer med 24 vogner
- K2* : Konvensjonelle togsett a 68 TEU med dagens frekvens a 12 avganger
- K3* : Dagens togsett a 68 TEU med dagens frekvens a 12 avganger + fire avganger med Cargo Beamer med 36 vogner

Med konvensjonelle togsett menes de togsett som trafikkerer Dovrebanen i dag. 48 TEU er valgt som basisscenario ettersom det er gjennomsnittlig mengde gods som går på Dovrebanen per tog i dag (Franzen, 2021). Dette tilsvarer omtrent 428 m gitt formlene ovenfor, mens 68 TEU tilsvarer 600 m lange tog, som er forespeilet lengde på Dovrebanen i fremtiden. Grunnen til at scenario *K1* har Cargo Beamer med 24 vogner, og *K3* har Cargo Beamer med 36 vogner er at det antallet vogner samsvarer i stor grad med de respektive lengdene 428 m og 600 m.

I tillegg til scenariene ovenfor skal det tegnes grafer som generelt sett viser kapasitet som funksjon av toglengde og frekvens, samt hvordan fyllingsgraden kan slå ut på kapasiteten på bane. Grafene vil også vise hvordan Cargo Beamer-løsningen slår ut på kapasiteten i forhold til konvensjonell løsning. Utregning av disse grafene baseres på samme metode som utregning av kapasitetsscenarioene, hvor

bruk av formlene 5.1 til 5.4 er utgangspunktet.

To av scenariene inkluderer Cargo Beamer-tog. Den ekstra kapasiteten disse gir er gods som må overføres ved den nye terminalen ettersom det er denne terminalen som kan behandle en slik togløsning. De to andre scenariene ser kun på konvensjonelle tog, som i stor grad vil ta utgangspunkt på reiser mellom eksisterende terminaler i Trondheim og Alnabru. For *K0*, som tar utgangspunkt i dagens godstogavganger, vil det utregnede omlastingspotensialet si noe om hvor mye kapasitet på Dovrebanen som trengs for fremtiden for å imøtekomme forventede godsmengder på Dovrebanen.

5.2.2 Godsmengde på veg og jernbane

Å ha kjennskap til fremtidens godsmengder vil ikke bare bidra til å vise et eventuelt gods-overføringspotensiale, men også gi et inntrykk på hvor mye gods som vil prege strekningen mellom Oslo og Trondheim. Godsmengden på Dovrebanen hentes ut fra NGM, og er tydeligere beskrevet i vedlegg G. Hvordan godsmengden blir for fremtiden avhenger av infrastrukturtiltakene som blir gjort. Ettersom det ikke er kapasitetsbegrensning på jernbane i NGM, bør i stor grad de parametrene som kan endre konkurransesituasjonen mellom veg og jernbane skje på vegfronten, med unntak av infrastrukturavgift og hastighet på jernbane. Hastigheten vil sannsynligvis ikke bli høyere i fremtiden, ettersom økt trekkraft i lokomotiver heller vil brukes til å trekke mer gods enn å få opp fremføringshastigheten (Gjersum, 2021). Videre antas infrastrukturavgiften ikke innført. Dette er en forutsetning for å gjøre tog mer konkurransedyktig. Ettersom godsmengdene regnes ut basert på tiltak i infrastrukturen, bør mengdene også kunne si noe om hvordan tiltakene påvirker konkurransesituasjonen mellom veg og bane.

Basert på diskusjonen ovenfor vil fremtidig godsmengde på Dovrebanen bli funnet ved å se på ulike scenarier som omhandler endringer i infrastrukturen på veg, samt drivstoffprisen for vegtrafikk. Siden NGM kun bruker lastebiler med dieseldrift fra dagens gjennomsnittlige bilpark, kan det ikke tas inn scenarier med mer drivstoffgjerrige, og gjerne elektriske, kjøretøy som kan forventes i fremtiden. Effekter i de ulike scenariene kommer fra av inndataendringer i NGM, samt den forventede veksten i godstransport for fremtiden. Scenariene for mulige godsmengder i 2030 og 2050 er:

- G0* : Basisscenario: Ingen endringer av inndata. Drivstoffpris som i 2018, på 14,86 *kr*
- G1* : Drivstoffprisen øker til 19,89 *kr* for vegtransport innen 2030. Antar samme drivstoffpris for 2050
- G2* : Ny motorveg på E6 mellom Melhus og Ulsberg med bompenger som vist i tabell 4.2 i 2030. Tilsvarende, men bompengefritt i 2050. Drivstoffpris som i basisscenario
- G3* : Som Scenario *G2*, men med drivstoffpris for vegtransporten på 19,89 *kr*

Prisnivået ligger som sagt i NGM på et 2016-nivå, slik at prisene som er angitt fra scenariene vil ligge i NGM som 2016-kr. Det antas at NGM er oppdatert med dagens vegnett og -standard, slik at det meste av vegnettet mellom Elverum og Oslo allerede er av høy standard i NGM. Videre antas det at alt gods reiser gjennom Rv3 Østerdalen. Antakelsen er delvis verifisert med å analysere reiseruter mellom Oslo og Trondheim i NGM. For Rv3 ligger det ikke inne konkrete større utbedringsplaner, men det gjør det for E6 mellom Ulsberg og Klett. Dermed gjøres det kun infrastrukturendringer for dette vegstrekket. Drivstoffprisen er satt som den er i de ulike scenariene i henhold til historiske og prognostiserte drivstoffpriser vist i vedlegg D. Standard verdi på drivstoff i NGM er 12,00 *kr* som var drivstoffprisen i 2016, men denne verdien endres altså for basisscenarioet ettersom det er en urealistisk pris for 2018.

Utdataen man får fra NGM gitt de ulike scenariene brukes også til å finne godsmengden på ulike deler av vegnettet. Se vedlegg G for detaljer. Godsmengden på veg er fordelt på alle typer vegfa-

rende kjøretøy som transporterer gods. Det er vegdata på deler av E6, samt Rv3 som undersøkes, og det hentes dermed ut data for godsmengde på veg ved følgende vegsnitt:

- Snitt E6 : Mellom Støren og Berkåk
- Snitt E6 : Mellom Berkåk og Ulsberg
- Snitt Rv3 : Ved Kvikne

Som for jernbanedata ses det ikke på retningsbestemt godsmengde, men summen av begge retningers godsmengde. Det ses ikke på Fv700 på tross av at man erfaringsmessig vet at en del tungtransport reiser her, ettersom NGM ikke regner riktige tall på denne vegstrekningen.

5.3 Godsmengder på eksisterende terminaler i Trondheim

Ettersom eksisterende terminaler i Trondheim har en makskapasitet på omlag 200.000 TEU, betyr det at eventuelle større mengder enn dette må omlastes på den nye lokalt plasserte terminalen, gitt at terminalkapasiteten i Trondheim ikke utvides. Man kan da si at potensielle godsmengder på den nye terminalen kan være godsoverføringspotensialet som er funnet ved å se på ubenyttet jernbanekapasitet, samt gods som påvirkes av en eventuell manglende terminalkapasitet ved eksisterende terminaler i Trondheim. Utfra dette kan et eksempel på utregning kan være som vist i formel 5.5.

$$\begin{aligned} \text{Godsmengde ny terminal [TEU]} &= \text{Ubenyttet jernbanekapasitet} \\ &+ (\text{Godsmengde eksisterende terminaler} - 200.000) \end{aligned} \quad (5.5)$$

Godsmengde på terminalene i Trondheim kan finnes fra NGM. Da antar man at det som opptar kapasitet på godsterminalene i Trondheim er av- og pålasting av lastbærere til og fra toget, samt overføring av togvognen inkludert lastbærere mellom lokomotiv med elektrisk drift og dieseldrift. Sistnevnte er for terminalene i Trondheim aktuelt for tog som er på gjennomreise mellom Alnabru og Bodø. NGM har tonnmengder på alle disse feltene for alle terminaler. Når det gjelder av- og pålasting vil det i dette tilfellet gjelde både tømning eller fylling av en lastbærer, samt flytting av lastbærer mellom tog og lastebil. Overføring av togvognen inkludert lastbærere krever også kapasitet på terminalen selv om man slipper løfting av lastbærere, blant annet fordi togvognene blir stående en stund. Da tar de opp sporkapasitet inne på terminalen, og inkluderes da også i beregningen. Detaljer for utregning finnes i vedlegg G

5.4 Utregning av GTK ved ulike transportløsninger

En god måte å illustrere hvordan GTK vil utvikle seg i et transportforløp er å gjøre et regneeksempel hvor godset reiser på ulike måter. I eksempelet benyttes strekningen Frøya–Alnabru, hvor godset fylles på lastbærer på Frøya, og tømmes av lastbærer på Alnabru. Dette er selvsagt en forenkling, ettersom mye gods ville ha fortsatt i samme lastbærer på nytt transportmiddel etter ankomst til Alnabru. Kostnader for lagerhold og bestilling ses bort fra ettersom den er lik for alle reisemåter, og regneeksempelet sikter derfor på å vise den relative forskjellen i kostnad. Ellers inkluderes de kostnader som er aktuelle for de ulike reisemåtene. Følgende reisemåter blir illustrert

Alternativ A : Bruk av semitrailer på hele strekningen

Alternativ B : Semitrailer til Trondheim, deretter tog til Alnabru. Benytter dagens terminalstruktur og omlastingskostnader gitt i NGM, det vil si bruk av vertikal omlasting

Alternativ C : Semitrailer til ny terminal på Støren, horisontal omlasting med Cargo Beamer-løsning og denne løsningens omlastingskostnader. Deretter videre med tog til Alnabru

Det antas en forsendelse på 20 *tonn*, noe som tilsvarer en full semitrailer. Støren er brukt som omlastingspunkt i alternativ C ettersom det kun er dette stedet i Region Trøndelag Sør det finnes nok reisedata i NGM til å gjøre beregningene. For å se på effekten på ulike vareavhengige tidsverdier gjøres regneeksempelet to ganger, der det første gangen brukes fersk laks og andre gangen matvarer. Se tabell 3.3 for verdier for vareavhengige tidsverdier. Annen inndata som bompenger, strekning og tidsbruk er i hovedsak funnet fra LoS-matrisene i NGM. Se vedlegg H for utregningene.

6 Godsstrømsanalyse

I følgende kapittel presenteres ulike data funnet fra godsstrømsanalysene gjort ved hjelp av modellering i NGM. Videre presenteres noen utregninger basert på disse dataene, samt et regneeksempel om GTK ved ulike transportmetoder. Dette kapittelet inkluderer også diskusjon av resultatene.

6.1 Godsstrømmer på veg- og banenettet i region Trøndelag Sør

Basert på tidligere diskusjon er det fra veggside E6 og Rv3 som ble sett på som interessante, samt Dovrebanen fra veggside. Figur 6.1 viser et kart over hvordan godsstrømmene på veg er i 2018 i region Trøndelag Sør, og er basert på scenario G0. Figuren viser tydelig antakelsen om at godsmengdene i hovedsak følger E6 mellom Ulsberg og Trondheim, samt Rv3 gjennom Østerdalen. Andre veggstrekninger har også store godsmengder, men disse har ikke tilkobling til togbane, samt at godset nødvendigvis ikke har strekningen mellom Østlands- og Trøndelagsområdet som en del av kjøreruten. Man ser også at Fv700 er omtrent uten godstrafikk, som gir mening med tanke på at denne veggstrekningen ligger inne med feil hastighet i NGM.



Figur 6.1: Godsstrømmer på veger i region Trøndelag Sør. Gitt i tusen tonn

For godsstrømmene på togbane, som også baseres på scenario G0, ser man ut fra figur 6.2 at så å si alt gods på bane sør for Trondheim følger Dovrebanen. På Rørosbanen er det kun en liten mengde systemlast som gir utslag på godsmengdene.



Figur 6.2: Godsstrømmer på banestrekninger i region Trøndelag Sør. Gitt i tusen tonn

6.2 Mengde overført gods ved ny terminal

Modellkjøring med nye terminaler på Støren og Berkåk i NGM gav ingen resultat. Det overføres altså ingen gods ved terminalene i følge NGM. Med tilsvarende kjøring, men hvor togbanen hadde et større konkurransefortrinn ved hjelp av drivstoffpris på 19,89 *kr* for vegfarende kjøretøy, var det fremdeles ingen godsoverføring ved de nye terminalene.

I første omgang ble det kun sett på omlasting i år 2030. Det ble videre antatt at ettersom resultatet for 2030 ikke viste noe omlasting ved de nye terminalene, ville det samme gjelde for 2050. Dette bør være en rimelig antakelse ettersom NGM har kapasitetsuavhengig nettulegging, og dermed at mer gods på en lenke ikke uten videre utløser behov for en eventuell omlasting.

Meningen med denne modellkjøringen var å si noe om hvor mye gods de nye terminalene ville overføre, og eventuelt hvordan det påvirket godsmengdene overført ved eksisterende terminaler på Brattøra og Heggstadmoen. Men i følge resultatene vil altså ikke noe gods overføres ved de nye terminalene. Det betyr altså at slike nye terminaler er uaktuelle å bruke gitt deres plassering og kostnader i NGM. Det finnes ulike mulige årsaker til at resultatet ble som nevnt. For det første baserer inndata i kostnadsmodellen seg på konvensjonelle terminaler hvor man blant annet setter inn kostnader på bakkepersonell, løfteoperasjoner og tidsbruk ved vertikal omlasting. Dette er kostnader som vil være svært annerledes for en automatisert terminal med horisontal omlasting. Dette gjorde at innfylling av nye kostnader i kostnadsmodellen ikke ble gjort i henhold til

kostnadsmodellens oppbygging, og det kan ha skjedd noen feil i forbindelse med dette.

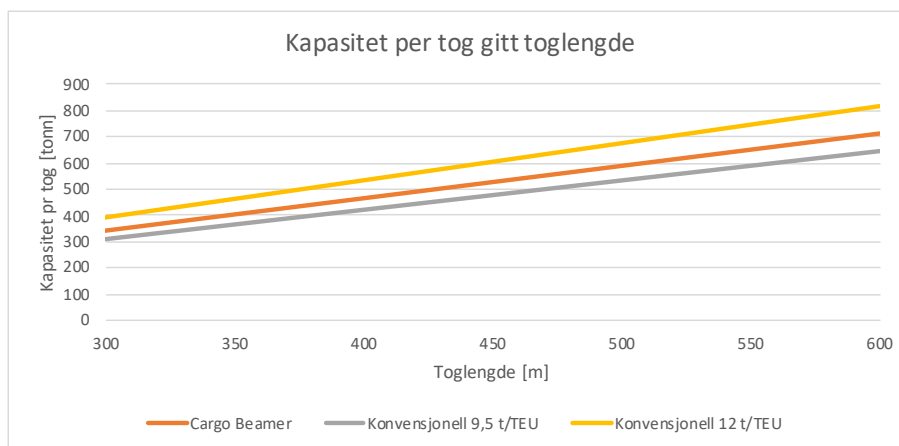
Videre er kun kostnadene på den nye terminalen gjort billigere, ikke på den andre terminalen for transportetappen på bane. Dette gjør at kun én omlastning ble billigere, slik at dette kanskje ikke er nok for å gjøre togtransporten mer konkurransedyktig. Det ble også modellert to nye terminaler samtidig. Dette kan også ha påvirket resultatene, men burde i hovedsak kun ha vært en potensiell feilkilde dersom det ble overført gods ved noen av terminalene i det hele tatt. En grunn til det er den mulige innbyrdes konkurransen to terminaler så nærme hverandre kunne ha skapt.

En annen feilkilde kan være hvilke kjøretøytyper som fikk redusert sin omlastingspris i henhold til Cargo Beamer-løsningen. Valg av kjøretøytypene er basert på at Cargo Beamer i hovedsak tar semitrailere, men man kunne gjerne også ha inkludert andre kjøretøytyper som tar andre lastbærere. I tillegg er det ikke gitt at Cargo Beamer er den løsningen som er best egnet for de nye terminale, slik at omlastingsprisen som er satt nødvendigvis ikke er den korrekte i modelleringen.

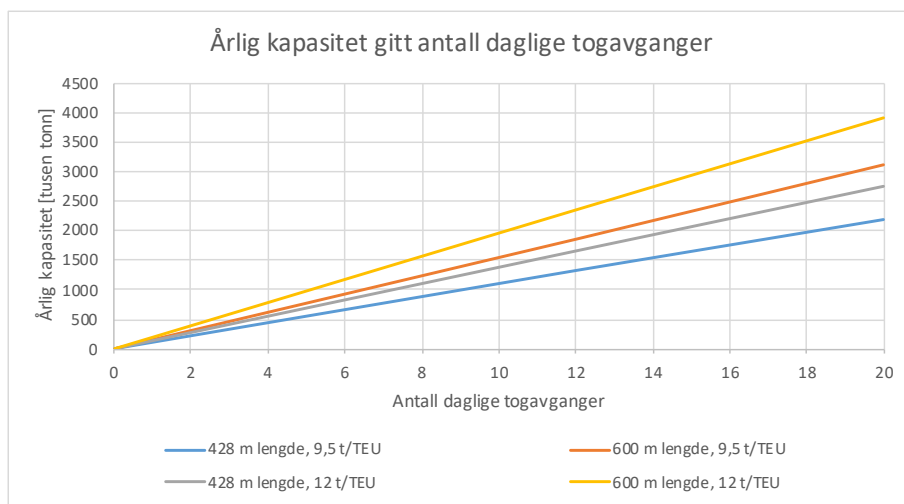
6.3 Tilgjengelig kapasitet på Dovrebanen

Den utregnede kapasiteten som vises i dette delkapitlet gjelder for Dovrebanen generelt. Det betyr at ikke alle togene som til sammen utgjør den utregnede kapasiteten nødvendigvis kan stoppe ved den nye terminalen. Det avhenger av hvilken løsning for omlasting den nye terminalen skal ha. Dessuten brukes kapasiteten kun til å regne ut et generelt potensiale for omlasting fra veg til Dovrebanen, og ikke nødvendigvis hvilket gods som skal overføres ved hvilken terminal.

Utnyttelsesgraden er satt til 100% i alle resultater, og følgende figurer viser hvordan kapasiteten på jernbane avhenger av tog lengde, frekvens, samt om fyllingsgraden av lastbærer er 9,5 *tonn* eller 12 *tonn* per TEU. Kapasiteten vist i figurene sier altså ikke noe om hvordan kapasiteten er utfra begrensinger i banens utforming. At utnyttelsesgraden av toget er satt til 100% gjør at figurene viser den absolutt maksimale kapasiteten et tog kan gi. Se vedlegg F for rådata.



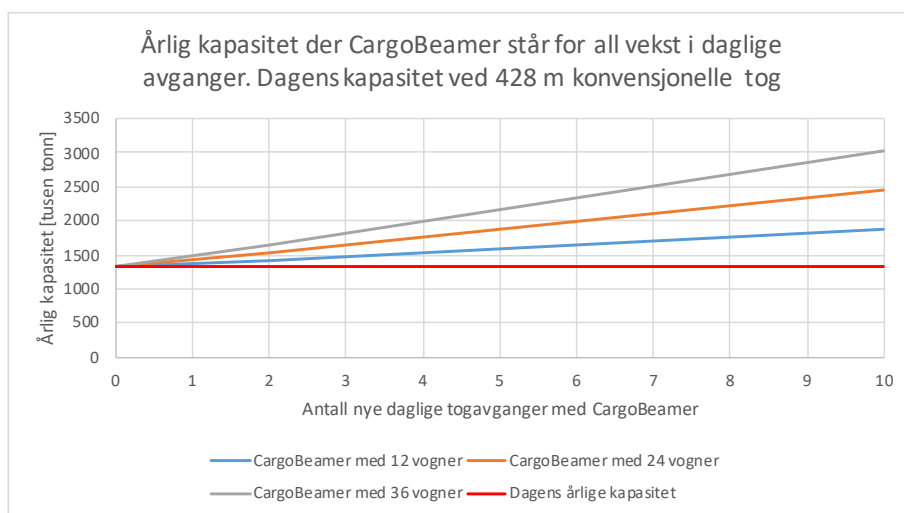
Figur 6.3: Hvordan et togs kapasitet øker som funksjon av tog lengde



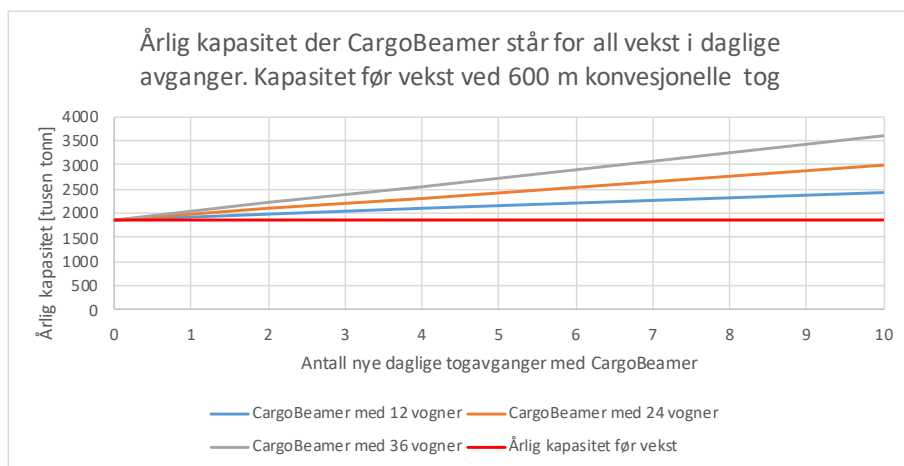
Figur 6.4: Hvordan årlig kapasitet øker som funksjon av antall daglige togavganger

Ut fra figur 6.3 og 6.4 ser man at ulike fyllingsgrad av lastbærer gir store forskjeller i kapasitet. Dermed vises det viktigheten av å utnytte alt rom i en lastbærer. Videre ligger i figur 6.3 Cargo Beamer sin kapasitet midt mellom kapasiteten for de konvensjonelle togene med ulike fyllingsgrad av lastbærer. Dette viser at Cargo Beamer-løsningen vil gi ganske lik kapasitet per tog som dagens konvensjonelle tog.

Figur 6.4 viser hvordan antall togavganger med kun konvensjonelle togsett spiller inn på kapasiteten. I figur 6.5 og 6.6 er det imidlertid tatt utgangspunkt i 12 daglige avganger med konvensjonelle tog med henholdsvis 428 m og 600 m lengde. Videre antas det at all vekst i antall avganger gjøres med Cargo Beamer. Figurene viser også hvordan ulike lengder på Cargo Beamer-løsningen slår ut på kapasiteten.



Figur 6.5: Hvordan årlig kapasitet på bane øker fra dagens kapasitet med konvensjonelle tog på 428 m gitt at all vekst i antall avganger skjer med Cargo Beamer

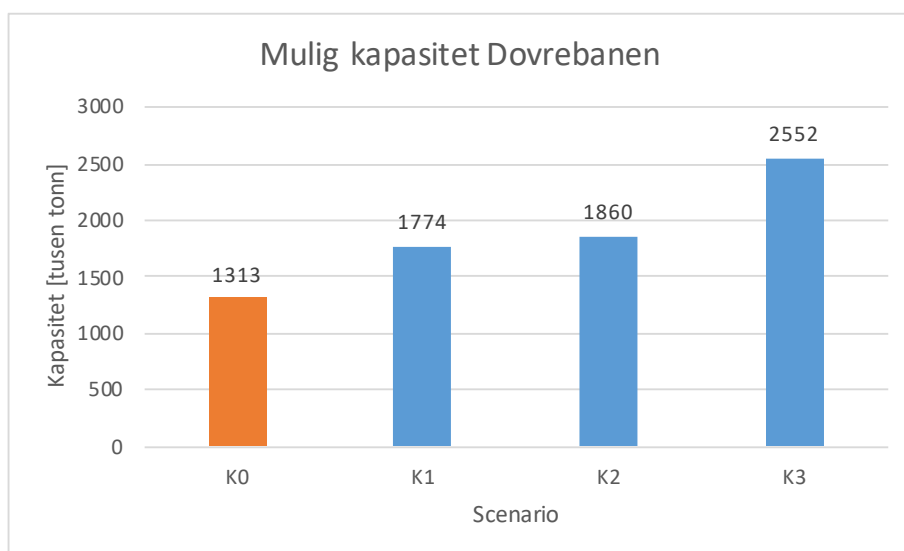


Figur 6.6: Hvordan årlig kapasitet på bane øker fra kapasiteten 600 m konvesjonelle tog gir gitt at all vekst i antall avganger skjer med Cargo Beamer

Det er muligens en større kapasitet enn funnet i figurene ovenfor i de tilfellene man ser på tog med dagens lengde på 428 m. Dette er fordi det per i dag går tog omlag 450 m, og gjerne opp til 480 m i følge NGM, noe som i teorien burde kunne romme flere TEU per tog. Å ta utgangspunkt i 428 m, eller 48 TEU, gir dermed nødvendigvis ikke faktisk maksimal mulig kapasitet, men det samsvarer heller bedre med mengden gods man i praksis laster et tog med i dag.

For figur 6.5 og 6.6 er det tatt utgangspunkt i en miks av konvesjonelle tog og Cargo Beamer-tog på Dovrebanen. Dermed kan figuren brukes til å se på økt banekapasitet på Dovrebanen den nye terminalen kan gi, ved å trafikere Cargo Beamer-tog mellom Alnabru og ny terminal, og konvesjonelle tog mellom Alnabru og Trondheim med dagens frekvens. Dette forutsetter selvsagt at det er nok linjekapasitet på Dovrebanen for flere avganger.

Videre presenteres fremtidig kapasitet basert på Scenariene som er beskrevet i delkapittel 5.2.1. Det er disse resultatene som legges til grunn for utregningen av godsoverføringspotensialet.



Figur 6.7: Mulig kapasitet på Dovrebanen utfra ulike scenarier

De ulike scenariene viser hvordan ulik utbygging av infrastrukturen på jernbane kan bidra til økt kapasitet. Det er som nevnt tidligere ønskelig å Dovrebanen skal kunne ta 600 m lange tog på sikt,

og det er derfor inkludert i to av scenariene. De to andre tar utgangspunkt i dagens tog lengde slik at man kan få sett hva effekten er dersom man ikke fører lenger tog i fremtiden. Det er ikke lagt mye vekt på at det kanskje blir mulighet for høyere frekvens med de tiltak som er planlagt å gjøre på Dovrebanen. Her er heller antakelsen at ytterligere daglige avganger på banen tas av Cargo Beamer løsningen. Dette kunne like så greit ha vært en vekst med konvensjonelle tog, men det er som nevnt tidligere interessant å se hvordan en miks av to ulike tog påvirker kapasiteten.

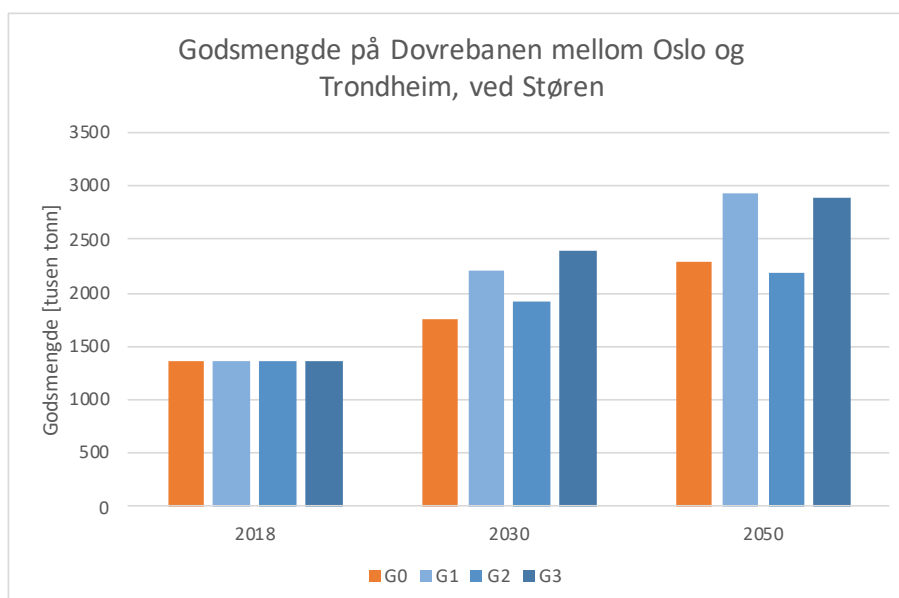
At det ikke er tatt hensyn til retningsbalanse gjør at kapasitetsberegningene nødvendigvis ikke er helt korrekte. Man vet det reiser mer gods i nordlig retning enn sørlig retning både på veg og bane, noe som kan resultere i mer ledig kapasitet i sørlig retning. Dette kommer imidlertid an på hvor mange tomme lastbærere som må fraktes sørover. Disse vil ta opp plassen til andre eventuelt fulle lastbærere som potensielt sett kunne ha blitt overført fra veg til bane. Dette fordi intermodal transport bruker samme lastbærer hele tiden, slik at det blir for tidkrevende å tømme lastbæreren til lastebilen, for så å fylle den tomme lastbæreren som står på toget ved omlasting fra veg til bane. Problemstillingen med tomme lastbærere, i tillegg til et noe usikkert datagrunnlag gjør at retningsbalansen neglisjeres i beregningene.

Konvensjonelle togsett er tatt med i kapasitetsberegningene ettersom det sannsynligvis vil ta svært lang tid å få skiftet ut togløsningen med nye løsninger som er bedre tilpasset horisontal omlasting. Ikke bare må alt togmateriell byttes ut, men også alle godsterminaler må oppgraderes. I tillegg ses det på et generelt potensiale for omlasting på Dovrebanen, og da er det vel så aktuelt å inkludere konvensjonelle tog, ettersom det ikke sies noe bestemt om hvor omlastingen skal skje. Scenario *K0* og *K2* er dermed passende for å se på kapasitet kun med konvensjonelle tog, og hvor mye tog på 600 *m* påvirker dagens kapasitet sammenliknet med tog på 428 *m*. For scenario *K1* og *K3* ser man hva innførselen av fire avganger med Cargo Beamer gjør for kapasiteten. Å bruke disse tallene forutsetter i stor grad imidlertid at den ekstra kapasiteten Cargo Beamer-løsningen gir, må benyttes på ny terminal.

6.4 Godsmengde på veg og jernbane

Godsmengdene som vises i dette delkapittelet er de mengdene som uansett vil reise på veg og bane uavhengig om det bygges en ny terminal eller ikke. Dette er altså godsmengder som kun er avhengige av ulike tiltak gjort på vegtrafikken.

Figur 6.8 viser de godsmengdene på Dovrebanen som har stopp ved både Alnabru og Heggstadmoen/Brattøra terminaler. Godsmengder fra togene som trafikkerer strekningen mellom Alnabru og Bodø er da også inkludert her. En del gods, som regel transportert på systemtog, reiser mellom andre terminaler, men også på Dovrebanen. Dette godset er da utelukket fra mengdene presentert i figur 6.8 i den grad det lar seg gjøre.



Figur 6.8: Godsmengden på Dovrebanen i begge retninger. Gjelder gods som minst er innom både Alnabru og Heggstadmoen/Brattøra terminal

Som man ser fra figur 6.8 er det ganske stor variasjon i godsmengdene for fremtidsscenariene i 2030 og 2050. *G0*, som er basisscenariet viser at det forventes en vekst på jernbane uten at noen tiltak i samferdselssektoren blir gjort. For *G1*, hvor drivstoffprisen øker til 19,89 *kr* vil vegtransport bli såpass dyrt at toget blir mye mer attraktivt sammenliknet med basisscenariet. Det må imidlertid settes spørsmål med hva drivstoffprisen faktisk vil bli ettersom 19,89 *kr* kun er et estimat. Som man ser gjør også en endring i drivstoffpris et stort utslag på godsmengdene, slik at god kunnskap om drivstoffprisen er viktig for å kunne gi et godt estimat på godsmengdene når man bruker NGM. Et annet usikkerhetsmoment med drivstoffprisene er at det ikke er tatt hensyn til at NGM benytter 2016-kr. Dette fordi utregningene av drivstoffprisene bestod av ulike elementer gitt i ulike kroneår, slik at at ytterligere usikkerheter rundt drivstoffprisen ville ha tilkommet ved å ihensynta kroneåret i drivstoffprisene.

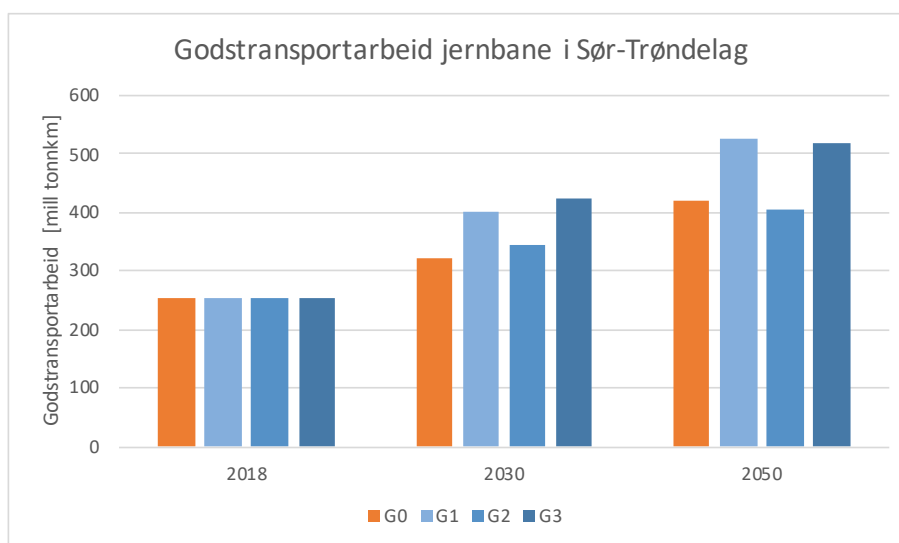
For *G2* er det modellert den nye motorvegen på E6 mellom Melhus og Ulsberg, med de gjennomsnittshastigheter, strekningsreduksjoner og bompenger denne medfører. Tross kortere veg og andre gjennomsnittshastigheter øker fremdeles godsmengden på togbanen i forhold til basisscenariet. En viktig grunn til dette er sannsynligvis bompengene på 426 *kr*₂₀₁₆ på strekningen. At det er lagt inn bompenger gitt i 2016-kr betyr nødvendigvis ikke at det koster 426 *kr* i 2030, men prisen i 2030 merkes som 426 *kr* ble merket i 2016. Utfra figur 6.8 er økte bompenger midlertid ikke et like sterkt virkemiddel for å få mer gods over fra veg til bane sammenliknet med økt drivstoffpris som i scenario *G1*. Videre i 2050 er godsmengden i scenario *G2* på Dovrebanen lavere enn basisscenariet. Dette henger sammen med at bompengene er forventet fjernet innen 2050. Reduksjonen i banetransport i 2050 i forhold til basisscenariet er imidlertid fremdeles liten, noe som kan indikere at den nye motorvegen nødvendigvis ikke bedrer vegtransportens konkurransevne i nevneverdig grad. En viktig grunn til dette kan være hastigheten som er angitt for tungtrafikken på motorvegen. Denne er satt til 70 *km/t*, og er dermed lavere enn hva den var på mange av veglenkene i NGM i basisscenariet. Hastigheten er imidlertid jevnere, men dette virker det ikke som NGM medregner ettersom det er satt gjennomsnittspriser på strekningskostnader for de ulike kjøretøyene uavhengig av hastighet. I tillegg blir kun den nye strekningen omlag fire *km* kortere med den nye motorvegen.

I scenario *G3* har man de samme forholdene som *G2*, men gitt drivstoffprisen på 19,89 *kr* som i *G1*. Dette gjør at man får effektene fra både *G1* og *G2* kombinert, og resultatene kan forstås basert

på diskusjonen om scenariene *G1* og *G2*.

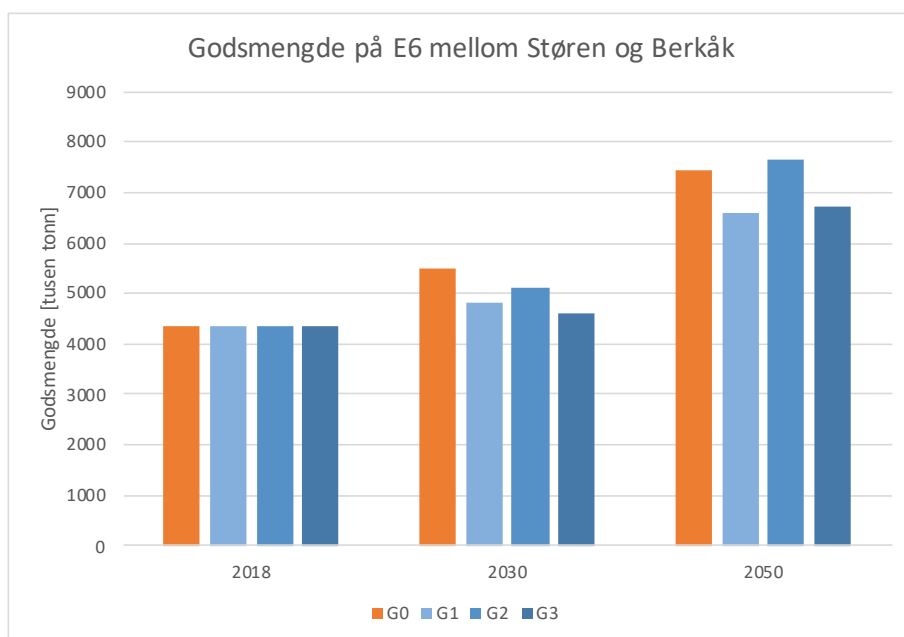
Ettersom tiltak som legges inn i NGM i hovedsak kun kan gjøres på vegsektoren kan scenariene virke noe ufullstendige. Dersom det for eksempel ville ha vært mulig å legge inn 600 *m* lange tog i godsmodellen, ville dette kunne ha gitt lavere enhetskostnader for tog og dermed slått inn på godsmengdene på veg og bane. Det er heller ikke lagt inn de planlagte infrastrukturavgiftene på togbane, noe som kan virke urealistisk ettersom de er vedtatt innført. Et tiltak for å styrke banens konkurransevne er imidlertid å skrinlegge denne avgiften, og resultatene i godsstrømsanalysen tar dermed utgangspunkt i dette.

Figur 6.9 viser godstransportarbeidet for alle jernbaner i Sør-Trøndelag. NGM bruker fylkesinndelingen av Norge som gjaldt frem til 31.12.2019, og det er derfor presentert data for Sør-Trøndelag, og ikke Trøndelag. Man ser at godstransportarbeidet følger samme mønster som godsmengdene på Dovrebanen vist i figur 6.8.

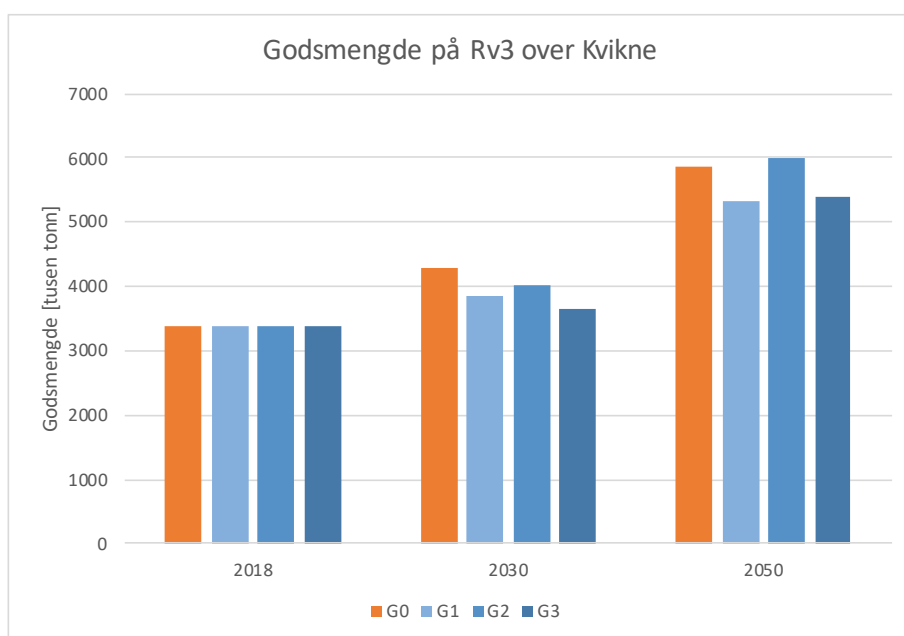


Figur 6.9: Godstransportarbeidet på alle jernbaner i Sør-Trøndelag.

I det videre presenteres data for godsmengder på veg. I hovedsak vil de ulike scenariene *G0* til *G3* ha motsatt effekt på godsmengde på veg som på jernbane ettersom man ser på overførsel mellom disse to transportformene. Dette stemmer godt utfra figur 6.10 og 6.11 som har motsatt mønster i forhold til figur 6.8. Det samme gjenspeiles i godstransportarbeidet. Diskusjonen rundt hvorfor scenariene utvikler seg som de gjør er derfor i hovedsak diskutert i tidligere avsnitt.



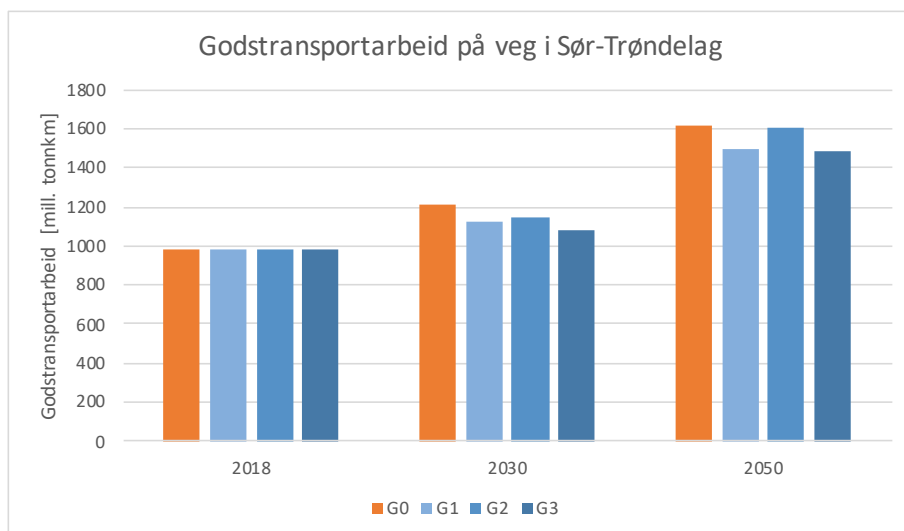
Figur 6.10: Godsmengde på E6 mellom Støren og Berkåk. Gjelder begge retninger



Figur 6.11: Godsmengde på Rv3 over Kvikne. Gjelder begge retninger

Som man ser i figur 6.10 og 6.11 er mønsteret ganske likt, men med forskjellige mengder på de to snittene. Det betyr sannsynligvis at begge vegstrekninger vil bli påvirket av endrede mengder gods på Dovrebanen.

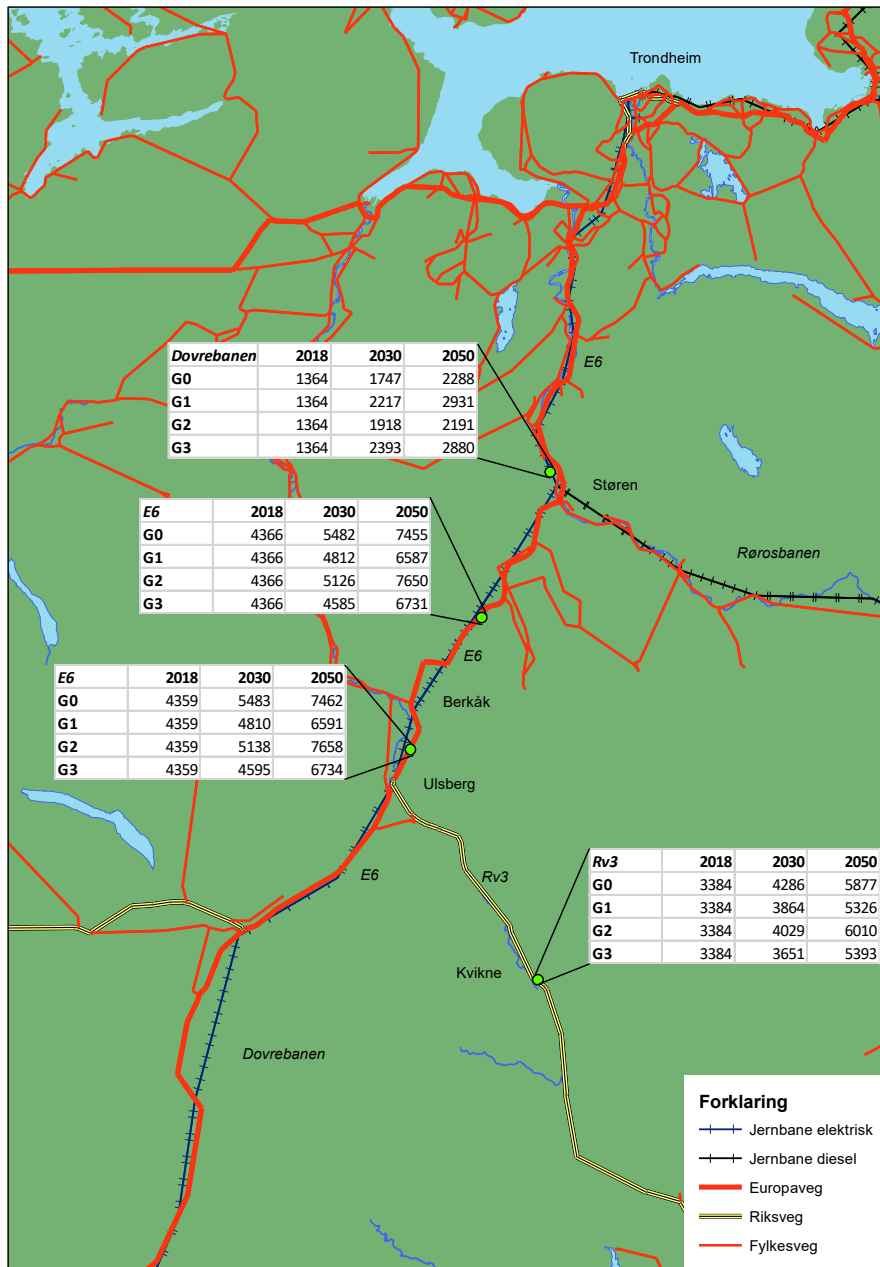
I godsmengdene på veg er det også inkludert modulvogntog. Disse er mer konkurransedyktige enn andre transportmidler på veg, slik at det kan antas at modulvogntog er den kjøretøytypen som minst sannsynlig vil være aktuell til å få sitt gods overført fra veg til bane. Hvorvidt modulvogntog bør inkluderes i godsmengdene er dermed usikkert.



Figur 6.12: Godstransportarbeid på alle veger i Sør-Trøndelag

For vegdataen avviker mønsteret mellom godstransportarbeidet noe fra mønsteret til godsmengdene spesielt for scenario *G2* i 2050. En viktig grunn til dette kan være at den nye motorvegen på E6, som har ganske store godsmengder per år, blir fire *km* kortere.

Trafikkmengden var tilnærmet lik på begge snitt på E6 som skulle undersøkes. Dermed presenteres kun figuren for godsmengden mellom på E6 Støren og Berkåk i tillegg til Rv3 over Kvikne. En grunn til likheten er at Fv700 har mye mindre godstrafikk i NGM enn forventet. Dermed er det ikke mange sideveger og aktivitet som vil kunne bidra nevneverdig til forskjellige godsmengder på E6 nord og sør for Berkåk. Figur 6.13 viser imidlertid tall for begge snitt langs E6. Rørosbanen er ikke tatt med, da den ikke har regulære godstogavganger. For Rørosbanen vil det være lettere å modellere fremtidige scenarier for godsmengder når man vet hvilke konkrete oppgraderinger Rørosbanen vil få.



Figur 6.13: Kartet viser godsmengden på ulike snittene gitt ulike scenarier i region Trøndelag Sør

6.5 Godsoverføringspotensial fra veg til Dovrebanen

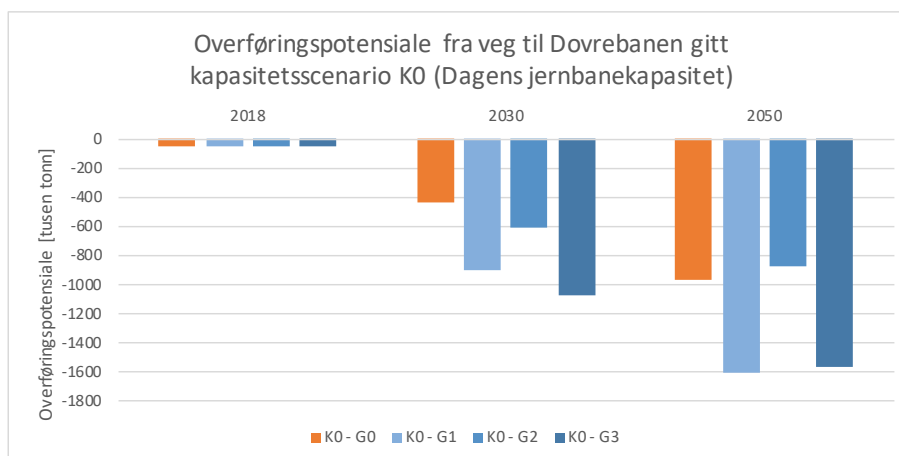
Følgende figurer viser hvor mye mer gods som kan overføres fra veg til Dovrebanen etter at man har tatt hensyn til forventet vekst på Dovrebanen. Et negativt tall betyr at det ikke er tilstrekkelig kapasitet på Dovrebanen, slik at den ikke klarer å imøtekomme forventet godsmengde. En negativ mengde vil dermed gi ytterligere vekst i godstransport på veg. En positiv mengde betyr at det er kapasitet på jernbanen, og det er denne mengden gods man kan få overført fra veg til Dovrebanen.

Det vises en figur for hvert kapasitetsscenario, og dermed hvordan de ulike scenariene for godsmengder er i forhold til forventet kapasitet på Dovrebanen.

For scenario *K0* vist i figur 6.14, er det tatt utgangspunkt i dagens kapasitet på Dovrebanen basert på dagens tog lengder og antall avganger. Det vil si at scenario *K0* viser hvor mye kapasiteten må

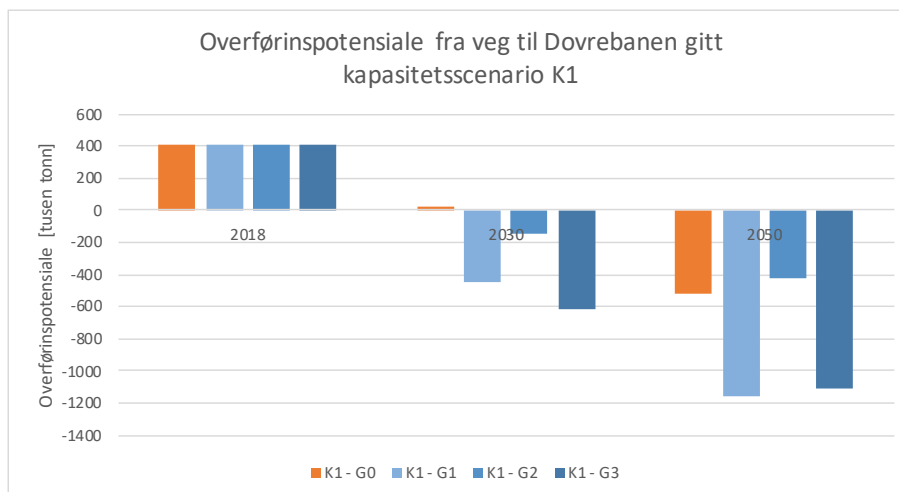
økes for å imøtekomme de forventede godsmengdene på Dovrebanen som vist i figur 6.8.

Figur 6.15, 6.16 og 6.17 viser hvorvidt kapasitetsscenario *K1*, *K2* og *K3* er tilstrekkelig kapasitet for å imøtekomme fremtidens godsmengder på Dovrebanen, samt hvilke mengder gods man eventuelt kan få overført ekstra fra veg til Dovrebanen.

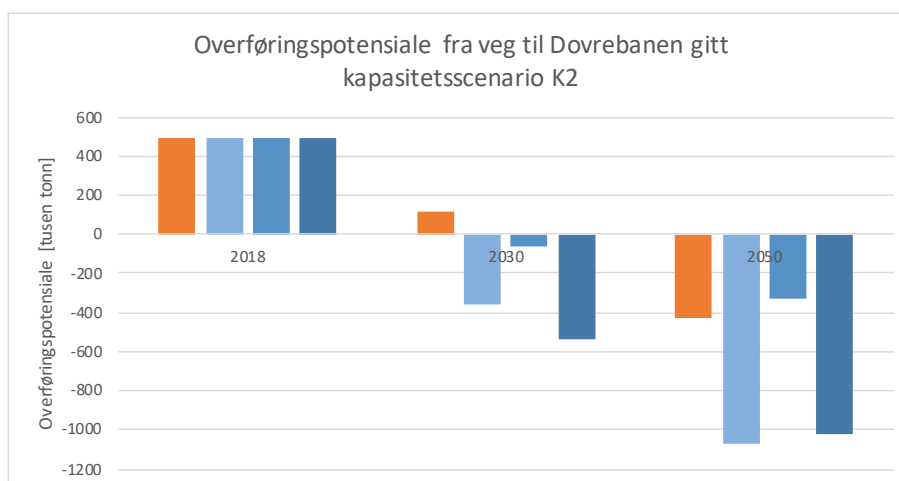


Figur 6.14: Overføringspotensiale av gods fra veg til Dovrebanen med utgangspunkt i jernbanekapasitet gitt i scenario *K0*

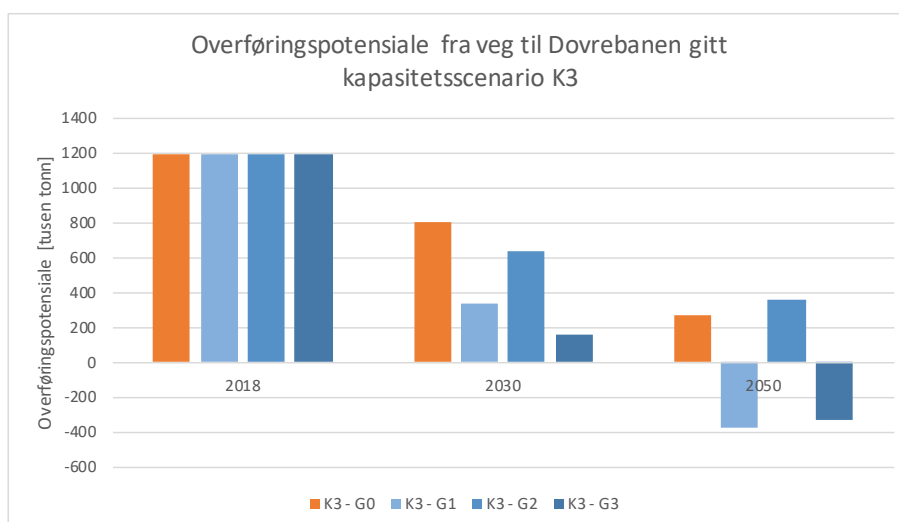
Som vist i figur 6.14 er det en liten mangel på kapasitet for 2018. Dette til tross for at kapasiteten er regnet ut fra de antall togavganger som går i dag. Dermed burde egentlig resultatet ha ligget på omlag 0 for 2018. En mulig forklaring på dette er at godsmengdene er funnet ved bruk av NGM, og modellprogrammer nødvendigvis ikke kan gi data av høy nøyaktighet. I tillegg vil sannsynligvis godsmengdene NGM angir også kunne inneholde noe system- og vognlast som for eksempel biltog, noe som er ekskludert i kapasitetsberegningene. Denne feilkilden vil også prege de følgende figurene som viser overføringspotensialet.



Figur 6.15: Overføringspotensiale av gods fra veg til Dovrebanen med utgangspunkt i jernbanekapasitet gitt i scenario *K1*



Figur 6.16: Overføringspotensiale av gods fra veg til Dovrebanen med utgangspunkt i jernbanekapasitet gitt i scenario K2



Figur 6.17: Overføringspotensiale av gods fra veg til Dovrebanen med utgangspunkt i jernbanekapasitet gitt i scenario K3

I hovedsak er det på sikt ingen av kapasitetssceneriene som imøtekommer den forventede veksten på Dovrebanen, og det er da altså et negativt godsoverføringspotensiale for de fleste scenarier i 2050. Dette kan bety at man ikke kan få overført ytterligere godsmengder fra veg til Dovrebanen fordi all kapasitet vil gå til å imøtekomme forventet vekst på Dovrebanen. Resultatet blir dermed at man ikke får dempet den forventede veksten i godstrafikk på veg i region Trøndelag Sør. Dersom man antar at alt positivt godsoverføringspotensiale kan omlastes ved den nye terminalen, betyr det at den nye terminalen ikke vil være aktuell for godsoverføring gitt denne antakelsen. Denne antakelsen stiller imidlertid svakt ettersom det ikke er oppgitt hvordan man løser problemstillingen med bruk av konvensjonelle tog på terminal for horisontal omlastning. Godsoverføringspotensialet bør dermed ses på som uavhengig av hvilken terminal omlastning skjer på, og heller en pekepinn på hvilken kapasitet Dovrebanen bør ha. Resultatene er imidlertid basert på blant annet kapasitetsscenerier, som ikke trenger å være gjeldende for fremtiden, slik at det kan hende det er nok kapasitet på jernbanen også.

For kapasitetsscenario K3, vil det for godsmengdesceneriene G0 og G2 være et positivt godsoverføringspotensiale. Dette er imidlertid lavt til å være i 2050, og vil sannsynligvis ikke være

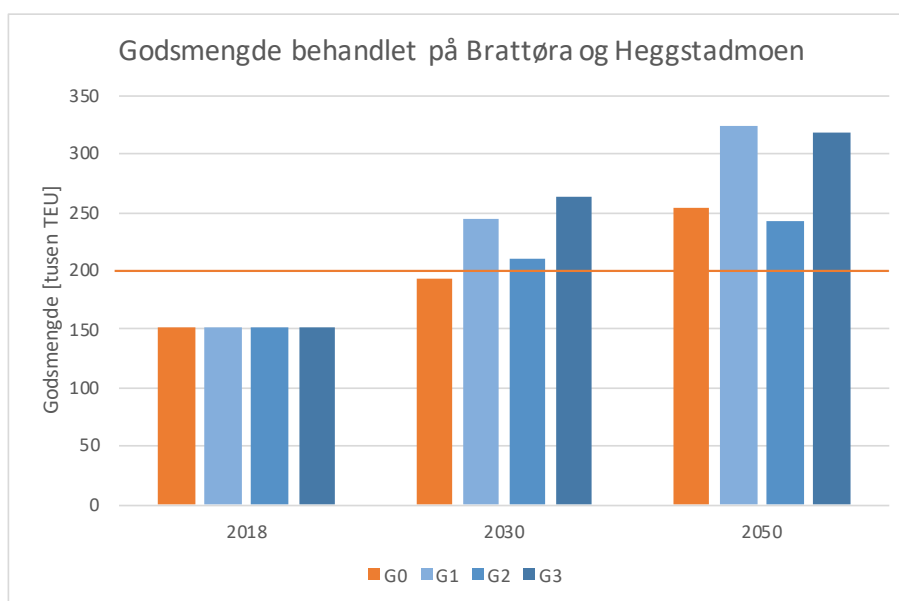
særlig utslagsgivende sammenliknet med de forventede godsmengdene på veg. På en annen side viser det at dersom denne kombinasjonen av kapasitetsscenario og godsmengdescenariene blir oppfylt innen 2050, vil man i det minste kunne imøtekomme forventet vekst i godstrafikk på Dovrebanen og i tillegg få overført noe ytterligere gods fra veg til Dovrebanen. De fleste kombinasjoner av kapasitetsscenarioer og godsmengdescenarioer peker imidlertid på et negativt godsoverføringspotensiale, slik at i videre diskusjoner legges det hovedvekt på de resultatene gitt at kapasitetsscenarioene er riktige.

En annen mulighet er å si at den kapasiteten Cargo Beamer-togene bidrar med i Scenario *K1* og *K3* er den mengden gods som skal overføres ved den nye terminalen. De konvensjonelle togene brukes da til å imøtekomme forventet vekst på Dovrebanen mellom terminalene i Trondheim og Alnabru. Da ser man på godsreiser mellom Trondheim og Alnabru og godsreiser fra ny terminal uavhengig av hverandre. Dette vil imidlertid utfra de gitte kapasitetsscenarioene gi ytterligere manglende kapasitet på bane for gods som uansett ville ha reist strekningen mellom Trondheim og Alnabru, med mindre man antar at en del gods heller skal omlastes ved ny terminal i stedet for i Trondheim.

6.6 Godsmengder på eksisterende terminaler i Trondheim

Den nye terminalen trenger nødvendigvis ikke å bli brukt utelukkende til omlasting av det utregnede godsoverføringspotensialet, men den kan også brukes som avlastning ved manglende kapasitet på eksisterende terminalstruktur i Trondheim. Den nye terminalen vil da ikke nødvendigvis hjelpe med å dempe veksten i tunge kjøretøy på vegene, men heller sørge for at det godset som uansett skulle ha reist på bane, fremdeles kan gjøre dette tross manglende terminalkapasitet i Trondheim.

Dersom fremtidige godsmengder på bane overstiger terminalkapasiteten på Brattøra og Heggstadmoen, må disse godsmengdene behandles ved den nye terminalen såfremt man neglisjerer utbygging av Torgårdterminalen. Figur 6.18 viser hvor mye gods som er forventet behandlet ved Brattøra og Heggstadmoen. All mengde over 200.000 TEU er en del av den godsmengden som kan forventes overført ved ny terminal, i tillegg til eventuelle positive mengder funnet fra gods-overføringspotensialet.

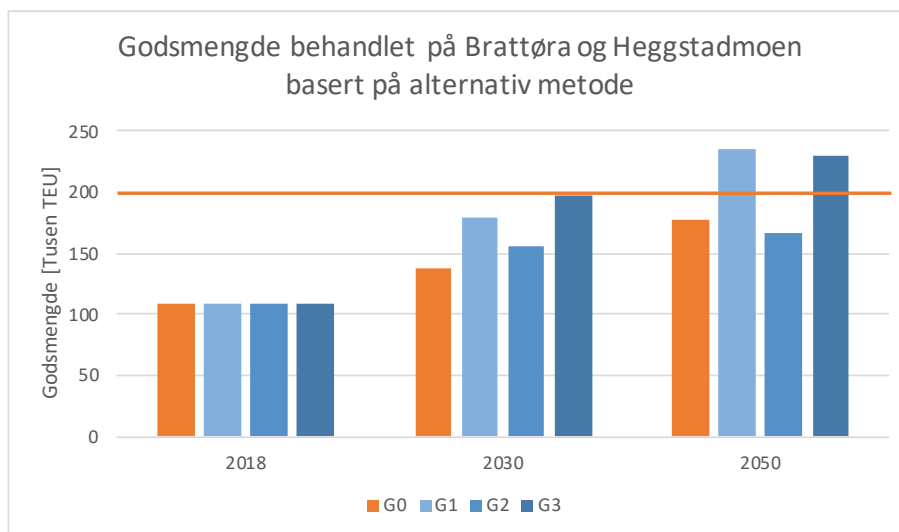


Figur 6.18: Godsmengder behandlet ved Brattøra og Heggstadmoen terminaler

Ut fra figur 6.18, vil terminalkapasiteten på Brattøra og Heggstadmoen ganske raskt overstige 200.000 TEU for alle godsmengdescenarier. At terminalene kommer til å behandle så store mengder gods krever imidlertid at togbanene som leder til disse Trondheimsterminalene har kapasitet nok til å frakte disse mengdene.

Tallene som er funnet i figur 6.18 er imidlertid mye høyere enn forventet. Det er tidligere nevnt fra *Tilleggsutredning Logistikknutepunkt i Trondheimsregionen* (Jernbanedirektoratet, 2019c), som blant annet har benyttet NGM til å finne godsmengder, at dagens terminalkapasitet burde være tilstrekkelig til minst 2040 og at i 2017 ble 117.000 TEU behandlet ved terminalene. Fra resultatene funnet her holder imidlertid ikke terminalkapasiteten en gang til år 2030. I tillegg er godsmengden i 2018 omlag 150.000 TEU.

Det finnes ulike grunner til hvorfor resultatet her kan ha et såpass stort avvik fra tidligere modelleringer funnet i litteraturen. Den første er at tidligere fungerte kapasitetsfunksjonen på jernbane i NGM, slik at veksten på bane ble begrenset av banetekniske faktorer som toglengde og sporkapasitet. Dette kan ha bidratt til å holde godsmengden på bane nede for ulike resultater fra litteratur som også har benyttet NGM. Videre kan fyllingsgraden på lastbærer påvirke, ettersom NGM angir mengder i tonn, mens kapasitet på terminaler angis i TEU. Dermed må man konvertere mellom disse enhetene og vanlig verdi å bruke er 9,5 tonn/TEU. Det er imidlertid ikke sagt noe om det er dette tallet som ble brukt i *Tilleggsutredning Logistikknutepunkt i Trondheimsregionen* (Jernbanedirektoratet, 2019c). Til slutt kan måten å regne ut mengden gods behandlet på terminal være feil. Det er i utregningen antatt at ikke bare lasting og lossing opptar kapasitet på terminalen, men også de fullastede vognene som reiser forbi terminalene i Trondheim, men som venter på endring av lokomotiv tilpasset diesel eller elektrisk drift for overførsel mellom Dovre- og Nordlandsbanen. Fjerner man disse mengdene får man resultatene som vist i figur 6.19.



Figur 6.19: Godsmengder behandlet ved Brattøra og Heggstadmoen terminaler med alternativ utregningsmetode

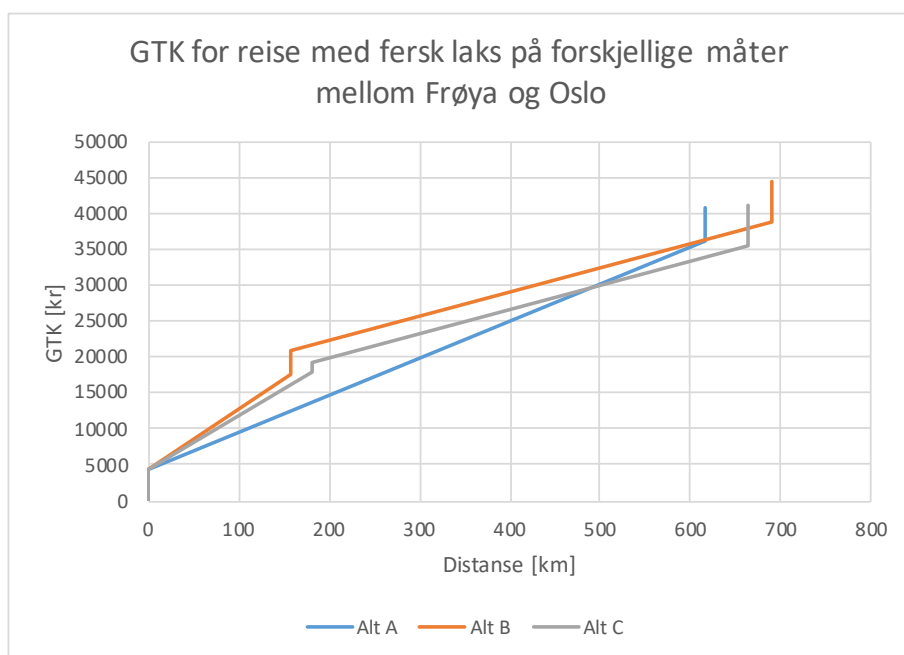
Resultatene fra figur 6.19 er mer i samsvar med det som er nevnt i diskusjonen ovenfor. Det trenger imidlertid ikke å være helt korrekt, ettersom figuren utelukker gods som reiser forbi Trondheim.

Men uansett om man baserer seg på tall fra figur 6.18 eller figur 6.19, vil det på sikt være nødvendig med mer terminalkapasitet, spesielt hvis kapasitet på bane mellom Trøndelag og Østlandet kan imøtekomme forventet vekst. For å få denne terminalkapasiteten er den nye terminalen en viktig bidragsyter.

Et annet aspekt som ikke er medregnet i kapasitetsanalysene for terminaler er hvorvidt Alnabru godsterminal har nok kapasitet til å imøtekomme den nye veksten forespeilet på Dovrebanen. Dessuten er det heller ikke spesifisert hvilken omlastingsmetode man bruker når eventuelle Cargo Beamer-tog kommer til Alnabru. Cargo Beamer-løsningen kan også benytte seg av vertikal løfting, men ettersom Cargo Beamer retter seg mot semitrailere, og disse i stor grad ikke kan løftes, vil man støte på problemer. Videre kan man ikke bruke den reduserte prisen for omlasting til Cargo Beamer-løsningen dersom det ikke kan foregå horisontal omlastning ved Alnabru.

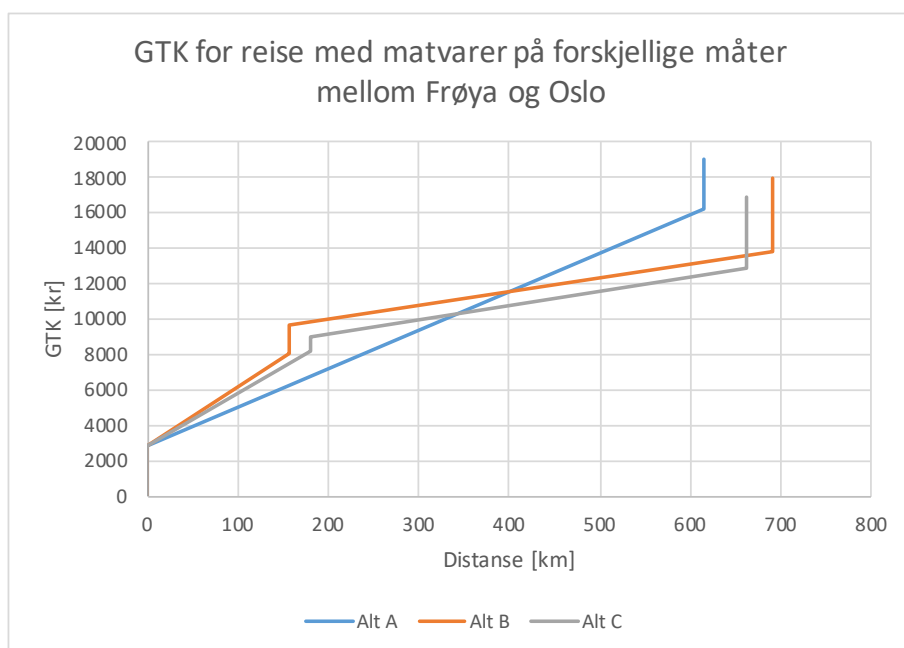
6.7 Utregning av GTK ved ulike transportløsninger

I det følgende presenteres utviklingen av GTK, eksklusive kostnader for lagerhold og bestilling, for tre ulike transportløsninger av 20 tonn gods. Transportløsningene er nøyere beskrevet i delkapittel 5.4. Det vises et eksempel med bruk av fersk laks som last, og et med bruk av matvarer som last.



Figur 6.20: GTK, eksklusive kostnader for lagerhold og bestilling, for laksetransport mellom Frøya og Alnabru med tre forskjellige transportmetoder

For laksetransport ser man at den billigste løsningen er alternativ A, som er lastebiltransport hele veien. Den dyreste løsningen er å bruke bil til Trondheim og tog videre, mens bruk av ny omlastingsterminal med horisontal omlastning er nesten på samme prisnivå som alternativ A. NGM angir at lossing av lastbærere fra tog koster mer per tonn enn fra lastebiler, som vist i tabell 3.2. Dette gjør at alternativ C akkurat blir dyrere enn alternativ A.



Figur 6.21: GTK, eksklusive kostnader for lagerhold og bestilling, for transport av matvarer mellom Frøya og Alnabru med tre forskjellige transportmetoder

For matvarer er situasjonen annerledes. Disse har lavere vareavhengig tidsverdi, slik at tiden til omlastning og transporten slår ut mindre på totalprisen. Her kommer begge alternativene med togtransport bedre ut enn direkte lastebiltransport, med bruk av horisontal omlastning som billigste løsning.

Et annet aspekt grafene i figur 6.20 og 6.21 viser er hvordan vertikal omlasting og horisontal omlasting med Cargo Beamer-løsningen slår ut på GTK. Omlastingen vises som den vertikale delen av grafene som er mellom x-akseverdiene 100 og 200 km. Spesielt for laks, som har høy tidsverdi, har omlastingsmetode mye å si på utviklingen av GTK.

Resultatene fra eksempelet her viser hvordan en vareeier må vurdere den beste transportmetoden utfra hva som transporteres. Dette viser også at varetype vil påvirke transportvalg, slik at en intermodal løsning gjerne ikke er like aktuelt for alle varetyper. Jo mer man kan tilrettelegge for rask intermodal transport, desto flere varetyper vil være aktuelle for en slik løsning. Basert på eksempelet kan man anta at varer med lav tidsverdi er de som kommer best ut av å bruke intermodal transport.

De omlag første 160 kilometerne brukes biltransport for alle alternativene. Dermed burde stignings-tallet ha vært likt for alle løsningene her. Dette er imidlertid ikke tilfellet fordi de ulike kjørerutene har ulike bompengesatser. Videre er dessuten snittfarten forskjellig, utfra hva lenkehastigheten i NGM er satt til. Lavere stigningstall på GTK angir høyere snittfart. Snittfarten er vesentlig fordi den konverterer alle tidsavhengige kostnader i GTK til distanseavhengige, som er det GTK er en funksjon av. Man ser uansett samsvar med teorien om GTK at togtransport har lavere stigningstall enn biltransport.

Utregningen baserer seg på kostnadene som er satt som standard i NGM, altså de kostnadene som er vist i i tabell 3.2 og 3.3. Det vil si at de er funnet uavhengig av de ulike scenariene brukt for å finne data i tidligere delkapitler. Å bruke data fra de ulike scenariene G_0 , G_1 , G_2 og G_3 ville muligens gitt andre verdier. Tidsbruken og distansene NGM angir som er brukt i utregningene, kan også inneholde feil. Dette er spesielt for alternativ 1 hvor lastebil brukes hele veien. Ettersom NGM

neglisjerer Fv700, betyr det at godset sendes via Klett som ofte ikke er tilfellet for laksetransport fra Hitra og Frøya mot Oslo. Dette kan gi feil utslag på kjøretider og bompenger. Dessuten er vegnettet oppgradert på Fv714 mot Hitra og Frøya som også kan påvirke resultatet. Det var imidlertid ønskelig å bruke standardverdiene for å få et nøytralt sammenlikningsgrunnlag og for å vise et generelt forløp i utvikling av GTK.

7 Forutsetninger for bygging av ny terminal

Det er til nå vist at det kan være behov for en ny terminal, spesielt dersom terminalkapasiteten på eksisterende terminaler i Trondheim blir mangelfull i fremtiden. Dersom det er nok kapasitet på bane, vil også en ny terminal være aktuell for å begrense veksten i vegtransport. Dette kapitlet vil presentere konkrete problemer som må tas i betraktning for at en ny terminal skal kunne bli tatt i bruk, og mulige løsninger på disse problemene. Kort fortalt presenterer kapitlet de ulike forutsetninger som må oppfylles for å gjøre den nye terminalen så lønnsom som mulig. Man kan si at de ulike aspektene som nevnes i dette kapitlet vil være kostnadsposter i en samfunnsøkonomisk analyse.

Vareiere og samlastere velger selv hvilken transportmetode som brukes utfra priser og egne kvalitetskrav. Å tilrettelegge infrastrukturen for enklere å kunne bruke mer intermodal transport, kan være en viktig bidragsyter for at gods på tog velges som transportmetode av vareiere eller samlastere. Dermed tvinger man ikke godstransportøren til å bruke togtransport, men man tilrettelegger for det på en slik måte at det er den mest lønnsomme transportmetoden.

7.1 Togtekniske forutsetninger

Jernbanen må ha tilstrekkelig kapasitet til å imøtekomme forventet vekst i gods på bane, samt å ha muligheten til å få ytterligere mengder gods overført til bane som et tiltak for å dempe veksten i gods på veg. Ved tilstrekkelig kapasitet på jernbanen vil terminalen både kunne fungere som avlastning av eksisterende terminaler i Trondheim, samt muligens avlastning av vegnettets godstransport. Ved lite kapasitet på jernbanen vil sannsynligvis ikke terminalkapasiteten i Trondheim overstiges, og det vil dermed være et dårligere grunnlag for å bygge ny terminal. Da fordi man ikke kan grunnge den nye terminalen med at den vil gi avlastning av eksisterende terminaler samt dempe vekst i godstransport på veg. De kapasitetsøkende tiltakene som jernbanedirektoratet foreslår gjennomført, er derfor i stor grad nødvendig for at bygging av ny terminal skal være aktuelt.

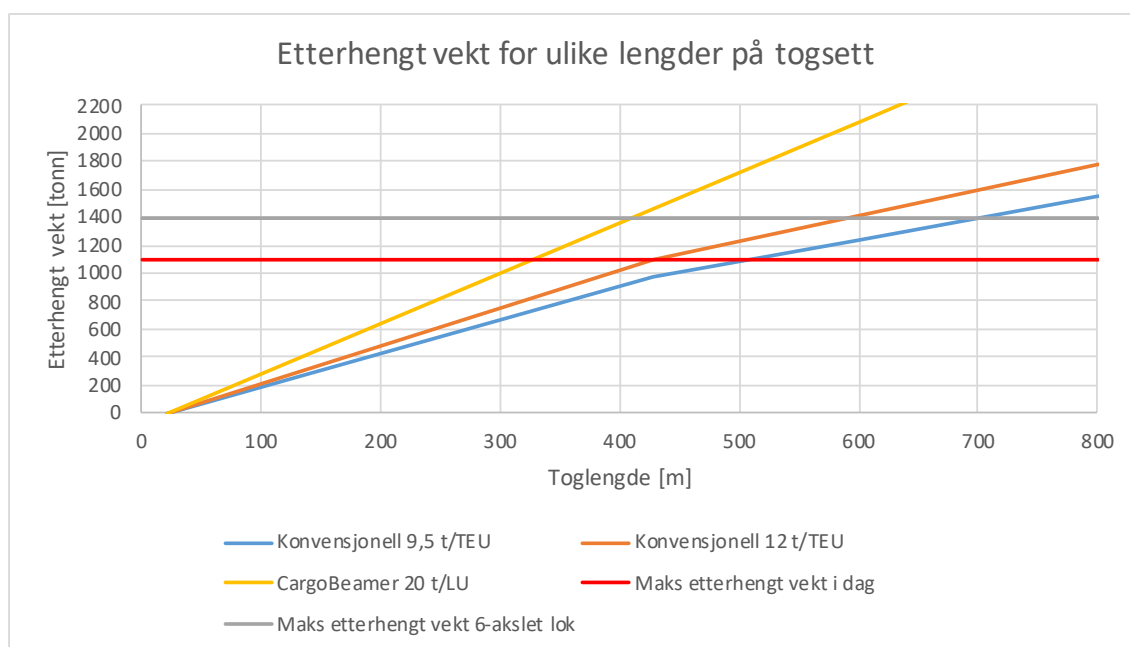
Bruk av intermodal transport er ofte såpass tidkrevende at det velges gjerne bort som aktuell transportløsning. En måte å forbedre dette problemet på er å redusere dagens tidkrevende metoder for omlasting. Det er dermed en forutsetning å bruke horisontal omlasting for gods mellom veg og bane for å øke den nye terminalens lønnsomhet. Dette vil få ned de generelle transportkostnadene, som igjen vil gjøre togtransport mer attraktivt for flere godstransportører. Hvilken type horisontal omlasting som brukes bør ses utifra grad av automatisering og da mengde personell som skal jobbe på den nye terminalen, samt tidsbruk, hvilke type lastbærere terminalen skal kunne behandle, arealbruk, investeringskostnad til terminal og vogner, og i hvor stor grad man ønsker å bruke spesiell utforming av togsett og terminalstruktur. Ettersom personell er en kostbar del av terminalen, bør man ha så stor grad av automatisering som mulig. I tillegg er ikke alle horisontale løsninger tilrettelagt for annet en semitrailere. For eksempel Cargo Beamer er i hovedsak laget for semitrailere, men kan også ta andre lastbærere. Løsningen bør også samsvare med andre terminaler slik at godset kan behandles raskt ved andre omlastingsterminaler også. Ellers vil man kun få billige omlastingskostnader ved et av endepunktene til jernbaneetappen. Videre bør valg av horisontal løsning og tilsvarende togsett være slik at toget også kan lastes og losses ved konvensjonelle terminaler, slik at toget opprettholder den grad av fleksibilitet som det har i dag.

Bruk av horisontal omlasting og høy grad av automatisering vil kunne gi den nye lokale terminalen en god fordel mot den planlagte terminalen på Torgård. Ettersom Torgårdterminalen skal bygges for vertikal omlasting, vil ikke tidsbruken på omlasting kunne bli så lav som ved den lokale terminalen. Den lokale terminalen vil derfor kunne gi intern konkurranse dersom både lokal terminal og Torgårdterminalen bygges. Det må derfor avgjøres hvorvidt terminalen på Torgård bør

bygges dersom man også går inn for å bygge en lokal terminal plassert i distriktene.

Et annet aspekt som kan øke terminaleffektiviteten er å lage terminalen så liten som mulig, men uten at det går utover nødvendig kapasitet. En liten terminal bør dessuten være billigere å bygge. Dersom man for eksempel kun har ett sidespor til terminalen, vil også kun ett tog kunne bli behandlet ved terminalen av gangen. Dette gjør at det blir et tidspres på å få fullført lossing og lasting av toget på kortest mulig tid før neste tog innkommer. I tillegg slipper man da opphopning av tog på terminalen slik at togets tid på terminalen blir unødvendig lang. Et spor krever imidlertid at man ikke kan ha mange avganger innenfor et konsentrert tidsrom. I tillegg er det sårbart ved forsinkelser, ettersom dersom to tog ankommer omtrent samtidig må det ene toget vente utenfor terminalen uten mulighet for lasting eller lossing av lastbærere.

Som nevnt tidligere krever de fleste løsninger av horisontal omlastning egne typer togvogner. Disse vognene er som regel mye tyngre enn de som brukes i dag (Klemenčić og Burg, 2018). Figur 7.1 viser et eksempel på hvordan etterhengt vekt øker med konvensjonelle tog og med Cargo Beamer. Det er antatt 100% utnyttelsesgrad, og for Cargo Beamer antas det fulllastede semitrailere på 20 tonn. For konvensjonelle tog vises både fyllingsgrad av lastbærere på både 9,5 og 12 tonn per TEU. Grensene som er vist for maks etterhengt vekt gjelder på Dovrebanen. Utrekningene vises i vedlegg F.



Figur 7.1: Viser hvordan etterhengt vekt øker med økende toglengde

Som man ser ut fra figur 7.1 vil man for Cargo Beamer etter relativt korte toglengder oppfylle makskrav for etterhengt vekt. Det kan forventes tilsvarende situasjoner for andre horisontale løsninger som krever egne togvogner. Man kan selvsagt bruke lokomotiver som kan trekke større etterhengt vekt, men da vil man få en konflikt med lønnsomhet, ettersom kraftigere og gjerne flere lokomotiver krever en ganske betydelig toglengde for å være lønnsomme som beskrevet i delkapittel 4.2.1. Dersom den horisontale løsningen resulterer i kortere tog, vil også enhetsprisen for togtransport kunne øke som for eksempel vist i figur 4.2. En høyere enhetspris er dårlig for togets konkurransevne. Tyngden må heller ikke være i konflikt med den maksimale metervekten på Dovrebanen. Denne er på 6,6 tonn/m for både Dovre- og Rørosbanen (Fevang, 2016). En enkel utregning fra tall i tabell 7.1, som er basert på beregninger i vedlegg F, gir at Cargo Beamer har en gjennomsnittlig metervekt på 3,6 tonn/m.

Tabell 7.1: Tabellen viser maksimal nyttelast, totalvekt og forholdet mellom disse for et konvensjonelt tog på 600 m med 9,5 tonn per TEU og Cargo Beamer-tog på 603 m

Togtype	Toglengde	Maksimal nyttelast	Totalvekt	Forhold nyttelast/totalvekt
Konvensjonell	600 m	646 tonn	1325 tonn	0,49
Cargo Beamer	603 m	720 tonn	2179 tonn	0,33

Infrastrukturavgiften på bane bør så langt det lar seg gjøre skrinlegges for å sikre togtransport en bedre konkurranseevne. Dersom infrastrukturavgiften for godstog fortsetter å bestå i fremtiden, regnes denne som nevnt for hele togsettet (bruttotonn). Dersom vekten på selve togvognene tilpasset horisontal omlasting er høyere, vil dette gi en høyere infrastrukturavgift uten at man nødvendigvis kan frakte mer nyttelast. De tunge togvognene gir dermed sannsynligvis et dårligere forhold mellom nyttelast og togets totalvekt enn dagens konvensjonelle vogner, noe som gjenspeiles i tabell 7.1. Det er en liten forskjell i toglengde på de to typene togsett, men dette handler om at vognlengdene er ulike. Det er antatt at begge togtypene trekkes av et like tungt lokomotiv.

Rørosbanen, som har lavere stigninger enn Dovrebanen, vil da kunne trekke større etterhengt vekt med tilsvarende lokomotiv som på Dovrebanen. Det betyr da at dersom Rørosbanen var elektrifisert ville man uten ytterligere tiltak kunne ført lenger tog med Cargo Beamer løsningen enn på Dovrebanen dersom man antar samme type lokomotiv. Andre tiltak på Rørosbanen som også kan øke kapasiteten vil være svært positivt med tanke på å få bygd en ny terminal.

Et annet aspekt som tenkes på er snømengde innenlands. Det vil sannsynligvis falle mer snø på innenlands terminaler, enn de som ligger nært kysten. Dette kan være en potensiell utfordring på bevegelige deler på togvogner og terminalløsninger. En løsning kan være å bygge tak over togsprene, men dette kan øke kostnaden av å bygge selve terminalen.

Som nevnt tidligere kan det være vanskelig for den nye terminalen å behandle både konvensjonelle togsett og togsett tilpasset en horisontal omlastningsmetode. Dette fordi terminalen bør bygges tilpasset til horisontal omlastning, og i tillegg ha så lite personell som mulig. Da er det i teorien ikke utstyr til å behandle de konvensjonelle togene. Dermed må man tidlig i planfasen bestemme hvordan togrutene skal være, og da også hvilken løsning for horisontal omlasting som skal brukes. Skal man i det hele tatt tillate konvensjonelle togsett å stoppe ved den nye terminalen, eller skal man for eksempel utrede en mulighet der de konvensjonelle togene i tillegg til sine egne vogner også trekker togvogner tilpasset horisontal omlastning? Dersom de konvensjonelle togene kunne ha blitt behandlet ved terminalen, stiller imidlertid næringen seg skeptisk til dette ettersom da vil dette toget få enda et stopp på reisen sin som vil øke tidsbruken. Det mest fornuftige vil sannsynligvis være å ha egne tog som går direkte mellom ny terminal og Alnabru uten stopp, mens andre tog trafikkerer strekningen mellom Alnabru og Trondheim uten stopp. I et slikt tilfelle må uansett Alnabru også kunne benytte seg av omlastningsmetoden de nye togene og den nye terminalen er laget for. Dersom man får flere lokalt plasserte terminaler som tillater horisontal omlastning, kan man begynne å optimalisere togrutene med flere stopp langs togstrekningen ettersom horisontal omlasting er tidseffektiv fremfor dagens omlastningsmetoder.

Å vite hvilke typer togløsninger som skal stoppe ved terminalen gjenspeiler hvor mye av kapasiteten på Dovrebanen den nye terminalen kan utnytte. Kapasiteten på Dovrebanen tar da utgangspunkt i antall tog og deres utforming på Dovrebanen. Dersom for eksempel 10 % av togene på Dovrebanen kan behandles ved den nye terminalen, vil man kunne utnytte 10 % av kapasiteten på Dovrebanen ved den nye terminalen. I tillegg vil det være mye enklere å regne på et spesifikt godsoverføringspotensiale ettersom man da vet hvilke tog som går til ny terminal, og hvilke som vil gå forbi ny terminal.

Den nye terminalen bør uansett ha et minimum av utstyr til av laste og losse konvensjonelle tog. Da vil den fungere som en beredskapsterminal for alle togsett ved driftsstans på Dovrebanen. Et viktig problem med driftsstans på Dovrebanen er at godstrafikken på Dovrebanen vil bli hindret og forsinket. Fra teorien om GTK er usikkerhet i fremføringstid noe som verdsettes av mange vareeiere. Dersom det er mye driftsstans på Dovrebanen vil dermed mange vareiere sannsynligvis nøle med å sende gods på bane på tross av de lavere transportkostnadene den nye terminalen kan gi. En elektrifisering og utbedring av Rørosbanen vil imidlertid kunne fjerne mye av usikkerheten rundt driftsstans, ettersom man da kan føre godset på Rørosbanen. Dette viser at utbedring av Rørosbanen også er en medvirkende faktor for i hvor lønnsom den nye terminalen kan være.

Et reelt problem med godstransport mellom Østlandet og Trondheim i dag er skjev retningsbalanse. Siden det går mer gods nordover, betyr dette tomme lastbærere sørover som tar opp potensiell plass til fulle lastbærere. Denne problemstillingen kan ta opp potensiell kapasitet på jernbanen, og må medregnes og eventuelt optimaliseres når man ser på potensialet med en ny terminal og økt togtransport.

Oppsummert må terminalen utformes og driftes på den måten som gir toget best mulig konkurranseevne. Å ihensynta og optimalisere de ulike punktene nevnt i dette delkapittelet, vil kunne sørge for billigere og mer fleksibel togdrift.

7.2 Terminalens omland

For at terminalen skal bli benyttet av godstransportører må den være så tilgjengelig som mulig for mest mulig transport. Det nytter ikke å bygge terminalen hvor det mangler god veginfrastruktur og gjerne nærhet til ulike næringer som er aktuelle når det gjelder bruk av den nye terminalen. Dette viser dermed hvor viktig det er å kartlegge dagens godsstrømmer for å kunne bestemme terminalens plassering.

Det er vist tidligere at byggingen av motorveg på E6 mellom Melhus og Ulsberg på sikt kan gjøre vegtransport mer konkurransedyktig, spesielt når bompengerevningen er over. Vegens økte konkurranseevne må dermed tas hensyn til når man ser på lønnsomheten av en ny terminal. Effekten av en motorveg kan imidlertid også gjøre togtransport mer konkurransedyktig ved at å plassere terminalen i nærheten av motorvegen gjør den mer tilgjengelig. Altså at terminalen får et større omland, og da kan få mer godstransport som vil benytte seg av terminalen til omlasting fra veg til bane. En ny motorveg kan altså være en bidragsyter til både økt og minsket konkurranseevne for Dovrebanen.

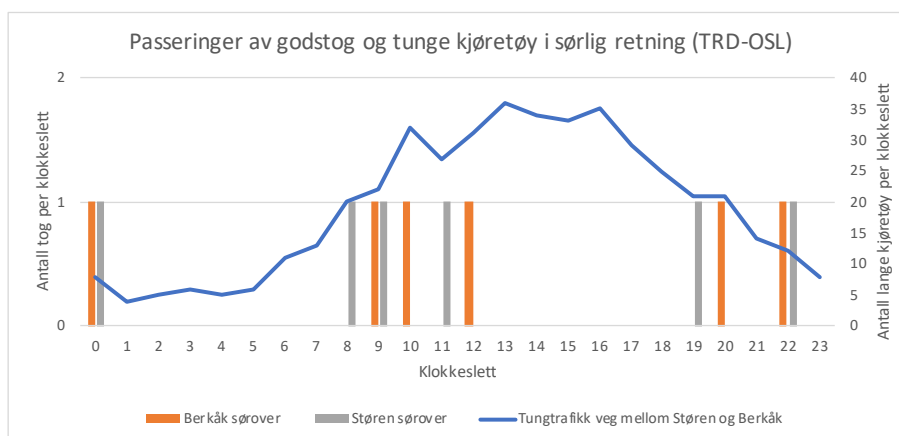
7.3 Samhandling

Dersom man får innfridd de ulike forutsetningene og problemene nevnt tidligere i kapittelet vil en intermodal løsning som inkluderer den nye terminalen bli et reelt alternativ for transportører av gods. Et viktig aspekt til er imidlertid kravet om samhandling. Det hjelper ikke at infrastrukturen er bygd på en slik måte at intermodale løsninger er konkurransedyktige uten at det er god samhandling mellom de ulike etappene i transportkjeden. Med god samhandling menes det at transportkjeden er bygd opp slik at det er rask og effektiv behandling av godset mellom hver etappe. Videre må rutetidene til de ulike etappene samsvare på en så god måte at man slipper lange ventetider ved omlastingsterminalene. Det hjelper ikke med rask terminalbehandling med tanke på godsets tidsverdi dersom for eksempel en lastebil ankommer omlastingsterminalen flere timer før togavgang. En intermodal løsning må derfor planlegges som en helhet, og ikke etappe for etappe. Dette er sannsynligvis relativt vanskelig å oppnå, men utbredt bruk av speditører som har ansvaret for

transport av godset fra start til slutt, kan hjelpe på for en helhetlig planlegging.

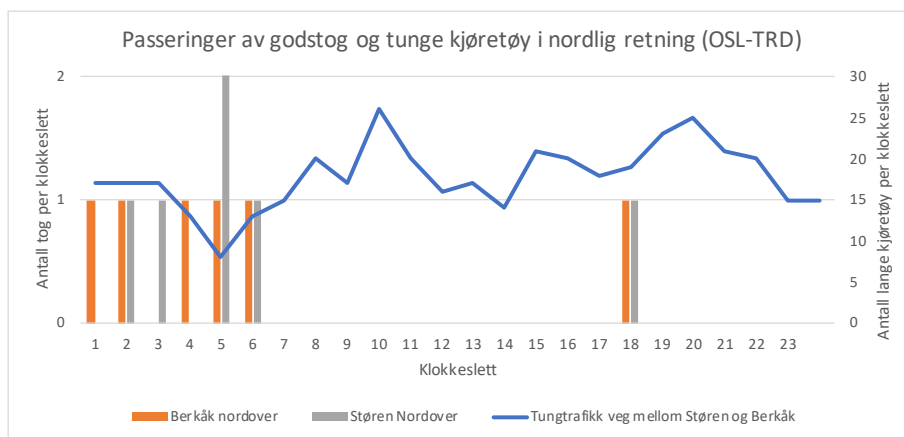
Figur 7.2 viser når godstogene passerer Berkåk og Støren stasjoner på sin reise fra Trondheim til Oslo. Inndata for dette er funnet fra ruteterminen R21 vist i vedlegg A. Videre viser figuren antall vegfarende kjøretøy over 16 m gjennom døgnet på et målepunkt på E6 mellom Berkåk og Støren. Med antakelsen om en ny togrute mellom ny terminal og Alnabru vil det i sørlig retning være omlasting fra veg til jernbane. Ved bruk av en ny terminal langs E6 i region Trøndelag Sør, bør eventuelle nye togavganger fra terminalen dermed samsvare med når det passerer flest lastebiler. Dette fordi man da har større godsmengder, og det gods som da egner seg for omlasting slipper å vente lenge ved terminalen. I tillegg vil omlasting av gods i de travleste timene kunne gi god effekt ved at man reduserer antall vegfarende kjøretøy i de timene med høyest tungbilandel på veg. Dette ses på en fordel, i hvert fall for vegstrekninger uten motorvegstandard.

Eventuelt kan man ta utgangspunkt eksisterende togruter, men da må lastebilene ankomme den nye terminalen i de tidsrommene toget passerer. Ankommer en lastebil for eksempel en ny terminal på Støren klokken 13:00, vil omlasting ikke kunne skje før tidligst 19:00. Dette oppfyller ikke kravet om samhandling, og det ville være bedre å bare la godstransporten fortsette på veg.



Figur 7.2: Mengde kjøretøy på veg og bane i sørlig retning gjennom døgnet ved Støren og Berkåk

Figur 7.3 viser tilsvarende som 7.2, men motsatt veg. Her ser man en større konsentrasjon av togpasseringer, mens vegtrafikken er mer jevnt fordelt utover døgnet. Med antakelsen om en ny togrute mellom ny terminal og Alnabru vil det i nordlig retning bli omlasting fra bane til veg ved den nye terminalen. Her er det viktig at kjøretøyene som skal frakte lastbæreren videre på veg står klare når togene ankommer. Ved bruk av den nye terminalen kan man anta at kurven som viser antall kjøretøy på veg vil gi mer konsentrerte mengder i periodene rett etter togankomst. Dette gir jo høyere tungbilandel på veg i visse timer, noe man så på som en fordel å få fjernet i sørlig retning. På en annen side vil det sannsynligvis være en motorveg fra terminalen og nordover som sannsynligvis mesteparten av vegtransporten i tilknytning til den nye terminalen vil benytte. Dermed kan en slik konsentrasjon av tunge kjøretøy ikke nødvendigvis trenge å være et problem.



Figur 7.3: Mengde kjøretøy på veg og bane i nordlig retning gjennom døgnet ved Støren og Berkåk

Utfra figurene ovenfor ser man generelt sett en tidvis konsentrasjon i mengde av enten tog eller vegfarende kjøretøy. Dette er tidene man har funnet ut er mest gunstig å føre transporten på per i dag. Dette viser på en god måte hvorfor det er kapasiteten i de markedsattraktive tidene man må vurdere.

8 Fordeler med ny terminal

Dette kapittelet skal presentere ulike fordeler den nye terminalen kan gi. Disse er viktige å ha kjennskap til ettersom de vil være nyttebidrag til en samfunnsøkonomisk analyse. En del fordeler vil være de samme som konvensjonelle omlastingsterminaler kan gi, men disse presenteres også. Videre vises det hvilke fordeler man får med å plassere en omlastingsterminal i distriktene, før det til slutt presenteres unike fordeler en terminal på Støren vil kunne gi.

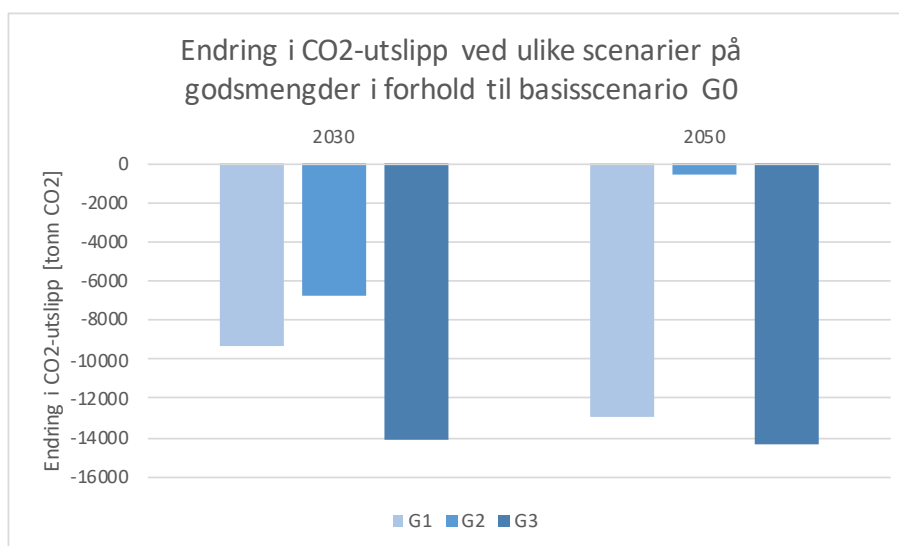
8.1 Generelle fordeler med omlastingsterminaler

En omlastingsterminal muliggjør først og fremst omlasting av lastbærere mellom veg og bane, slik at man der det er mulig kan benytte tog for godstransport. Flere omlastingsterminaler vil dermed gi en større fleksibilitet ettersom man får flere punkt man kan overføre gods mellom veg og bane. En større fleksibilitet, og i hvert fall i kombinasjon med effektive terminaler, kan bidra til økt konkurranseevne for togtransport, slik at man kan dempe bruken av vegtransport. Dette vil i så fall sørge for at man også demper veksten i de eksterne kostnadene tungtransport på veg forårsaker. Da spesielt forsinkelser, ulykker, trafikkstøy, vegslitasje, lokal og regional luftforurensing, samt utslipp av klimagasser. Når det gjelder støy, vil sannsynligvis en omlastingsterminal og selve togtransporten også lage dette, men man får sendt støyen til mer konsentrerte områder ettersom det er færre baner og terminaler enn det er veger.

8.1.1 Endring i CO₂-utslipp

Når det gjelder utslipp ser man fra delkapittel 4.5 at togtransport er mye mer miljøvennlig med tanke på mengde CO₂-utslipp per tonnkilometer enn vegtransport når man ser på selve transport-etappen. Utfra godsstrømsanalysen gjort i kapittel 6 så man at de ulike scenariene for godsmengder gav ulik mengde godstransportarbeid på veg og bane. Fordelingen av godstransportarbeid mellom veg og bane for de ulike scenariene var basert på forventet vekst i godstransport uavhengig om den nye terminalen ble bygd eller ikke. Ettersom det ikke ble noen resultater på hvor mye gods som kunne bli overført ved den nye terminalen, var det ikke mulig å regne på endring i CO₂-utslipp den nye terminalen kunne gi. Det går imidlertid an å regne på effekten innenfor CO₂-utslipp man kan få ved å ha tilstrekkelig kapasitet på bane og terminal, gitt de forventede godsmengdescenariene. Dersom kapasitet på Dovrebanen og tilhørende terminaler muliggjør godsmengdescenariene *G1*, *G2* eller *G3*, vil dette i seg selv være positivt med tanke på CO₂-utslippet.

Figur 8.1 viser differansen i CO₂-utslipp mellom godsmengdescenario *G0* og henholdsvis *G1*, *G2* og *G3*. Man ser altså på effekten av tiltakene i scenario *G1*, *G2* og *G3* i transportsektoren sammenliknet med dagens situasjon, *G0*. Tallene for endring i utslipp gjelder i det som frem til 31.12.2019 var Sør-Trøndelag fylke. Utregningene er redegjort for i vedlegg I. Dersom man klarer å håndtere de forventede godsmengdene på jernbane, vil man få utnyttet reduksjonen i CO₂-utslipp spesielt som scenario enten *G1* eller *G3* gir. Dersom scenario *G2* blir gjeldene scenario, ser man viktigheten av å finne andre tiltak som gir ytterligere reduksjon. Om det ikke blir gjort tiltak i infrastrukturen, og *G0* er gjeldene scenario, vil ikke utregningene i dette delkapittelet kunne gi noe resultat. Ved manglende kapasitet på jernbane kan man sannsynligvis forvente en økning i CO₂-utslipp, ettersom godstransportarbeidet på jernbane som godsstrømsanalysene i NGM gav ikke kan bli realisert. Det urealiserte godstransportarbeidet må dermed tas på veg.



Figur 8.1: Endring i CO₂-utslipp i Sør-Trøndelag basert på differansen i godstransportarbeidet mellom scenario G0 og de andre scenariene G1, G2 og G3 på veg og bane

For scenario G1 ser man at å øke drivstoffavgiften er et effektivt tiltak for å redusere CO₂-utslippet. Det at bane forventes å slippe ut enda mindre CO₂ per tonnkilometer i 2050 i forhold til 2030, bidrar til at reduksjonen forsterkes til 2050. At veksten i godstransportarbeid på veg skjer saktere for scenario G1 er en annen bidragsyter. For scenario G2 ser man at når bompengene innkrevingen fjernes i 2050 vil ikke CO₂-utslippet reduseres nevneverdig i forhold til basisscenariet. Det er imidlertid en liten reduksjon fordi den planlagte motorvegen er kortere, noe som gir en positiv klimaeffekt i dette tilfellet. I scenario G3 er reduksjonen tilnærmet lik både i 2030 og 2050. Dette er fordi man kan si at G3 er summen av effekter fra G1 og G2. Dermed vil den høye drivstoffprisen på vegtransport bidra til å motvirke manglende bompengene innkreving i 2050.

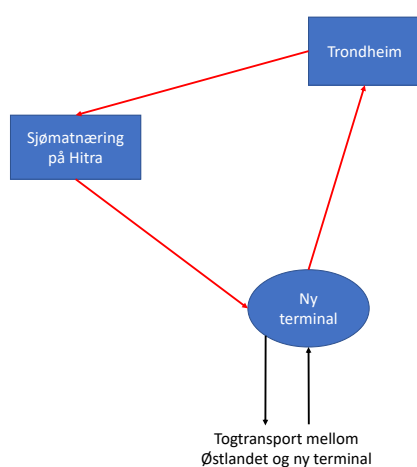
Tallene i figur 8.1 viser dermed hvor viktig det er med en omlastingsterminal som gir muligheten for godsoverførsel fra veg til bane når tiltak i samferdselssektoren gjør togbane mer attraktivt. Det er som sagt ikke mulig å si konkret hvor mye den nye godsterminalen vil påvirke CO₂-utslippet utfra godsstrømsanalysene som er utført, men den nye terminalen kan uansett bidra med terminalkapasitet slik at forespeilede godsmengdene på bane kan realiseres gitt nok banekapasitet.

8.2 Fordeler med lokal omlastingsterminal

Dersom det ikke er nok kapasitet til å få et positivt godsoverføringspotensiale, og dermed dempet vekst i godstransport på veg, vil allikevel den lokale omlastingsterminalen ha en del fordeler som allikevel kan gjøre den attraktiv.

For det første forutsetter den nye terminalen horisontal omlasting som kan bedre bærekrafts aspektene miljøvennlighet og trafiksikkerhet. Horisontal omlasting gjør at man slipper skifting med et diesellokomotiv. Videre trenger man ikke å bruke energi til vertikale løft, som gjerne er gjort av dieseldrevne reachstackere. Et resultat av dette vil sannsynligvis gjøre terminalen mer miljøvennlig. For ulykker er det nevnt i delkapittel 2.5 at semitrailere står for en økende andel av ulykkene på veg med tunge kjøretøy. Mange løsninger innenfor horisontal omlasting vil som regel rette seg mot semitrailere. At den nye terminalen skal benytte seg av horisontal omlasting gjør dermed at den vil være en viktig bidragsyter til reduksjon i semitrailere på veg. Dagens konvensjonelle omlastingsterminaler behandler få semitrailere i forhold til veksellak (se også tabell 2.1). En grunn til dette kan være fordi mange semitrailere ikke kan løftes.

Innenfor trafiksikkerhet- og miljøaspektet kan også den nye terminalen bidra til å anlegge såkalte *godssirkler*. Dette er optimaliserte ruter på veg som samsvarer med togavgangene ved den nye terminalen. En effektiv og en gunstig plassert terminal kan gjøre tog mer interessant å bruke. Videre kan økt bruk av togtransport gjøre utredning av disse godssirklene mer interessante. Et eksempel er vist i figur 8.2. Man begynner med en semitrailer og trekkvogn på Hitra. Her lastes semitraileren med laks, og transporteres til den nye terminalen. På grunn av god samhandling og effektiv omlasting sendes semitraileren umiddelbart videre med toget i retning Østlandet hvor laksen transporteres videre til sin destinasjon. Den ledige trekkvognen som nå står på den nye terminalen plukker så opp en ny og fullastet semitrailer som er ankommet den nye terminalen med toget. Denne kjøres til Trondheim og varene tømmes av semitraileren. Videre lastes samme semitrailer med varer som er bestilt til Hitra eller nærområdene, og kjører dit. Eventuelt kjører den tomlastet. På Hitra tømmes den eventuelt fullastede semitraileren, og fylles på ny med laks. Fra eksempelet kreves det sannsynligvis et minimum antall semitrailere og trekkvogner for at godssirkelen kan fungere.



Figur 8.2: Et eksempel på en godssirkel i forbindelse med ny terminal. Røde piler er vegtransport, svarte er togtransport

Å få etablert en godssirkel vil uansett sørge for mindre tomkjøring. Dette er gunstig fordi man da utnytter lastbæreren til det fulle, som bør være positivt med tanke på utslipp. I tillegg blir kjørerutene til trekkvognene relativt korte, slik at det enklere kan benyttes nullutslippskjøretøy når disse eventuelt kommer på markedet. Man kan nok forvente at de første nullutslippskjøretøyene vil ha begrenset rekkevidde sammenliknet med dagens tunge kjøretøy. Videre vil man også i stor grad bruke samme sjåfører på de samme rutene. Dette gjør at man får sjåfører med god kjennskap til vegen, sammenliknet med for eksempel utenlandske sjåfører som kjører importgods, eksportgods eller kabotasje på ukjente veger. I distriktene er ofte vegene dårligere og smalere, og det er derfor av betydning å ha god kjennskap til vegen, da dette kan føre til mer trafiksikker kjøring. En godt etablert godssirkel vil derfor kunne bidra til bedre trafiksikkerhet og mer miljøvennlighet.

Økt konkurranseevne hos jernbane er kanskje ikke ønskelig hos lastebilnæringen. Dette kan jo bidra til at de mister en markedsandel. På en annen er det som regel kabotasje norsk lastebilnæring konkurrerer med. Derfor er det ytre positivitet til utredningen av en ny terminal, ettersom man da får lokale og dyktige sjåfører innenfor et område gitt at godssirklene kan bli etablert, noe som bedrer trafiksikkerheten (Melum, 2021).

Det er tidligere nevnt at den nye terminalen vil være viktig for å avlaste eksisterende terminaler i Trondheim. En avlastning kan bli nødvendig dersom godsmengdene på bane er ventet å øke som

vist i resultatene fra godsstrømsanalysene. Videre vil terminalen også kunne bidra til avlastning av infrastrukturen i og rundt Trondheim generelt. Ved å legge en terminal utenfor Trondheim slipper man at mange tunge kjøretøy preger trafikkbildet til Trondheim. Videre kan den nye terminalen bidra til mer direkte transport, ettersom man slipper å reise innom Trondheim. I stedet ligger terminalen langs vegen som uansett ville ha vært aktuell å bruke ved direkte biltransport. Man slipper da gjerne også unna en eventuell rushtrafikk i Trondheim som kan skape forsinkelser.

I Trondheim har man imidlertid innfridd forutsetningen om et attraktivt omland. Dette er gjerne ikke tilfellet i distriktene. På en annen side trenger ikke dette å være negativt, ettersom forbedret infrastruktur også kan gjøre nye områder mer attraktivt. Dette ved at et område blir mer tilgjengelig gjennom en ny godsterminal og den aktiviteten den kan bidra med. Videre kan dette gjøre at man gjerne ønsker en utbygging her, noe som igjen kan føre til at ny næring vil etablere seg i området rundt terminalen. Det vil nok sannsynligvis ta lang tid fra åpning av terminalen før man ser denne effekten.

Torgård godsterminal som planlegges utbygd forventes å ha en kostnadsramme på omlag 3,8 til 4,5 milliarder 2018-kroner (Jernbanedirektoratet, 2019c). Med denne investeringen blir Brattøra godsterminal lagt ned, men ikke Heggstadmoen. Det betyr at man fremdeles har ulempen med to godsterminaler, og dermed driftsutgifter til begge terminaler. Kostnadene for en terminal som enten benytter Cargo Beamer eller Modalohr, vil ifølge tabell 2.5 fra delkapittel 2.7 om horisontal omlastning ikke klare å nærme seg en slik sum, med mindre den bygges veldig stor. Den nye terminalen vil dermed sannsynligvis være et billigere alternativ til Torgårdterminalen. Det er imidlertid ikke sett på hvordan prisforholdet er dersom man ser på forholdet mellom totalpris på terminalen og utbygget kapasitet, altså investeringskostnad i kr per TEU. Den nye terminalen vil nok altså være et billigere alternativ til Torgård, men forutsetter da sannsynligvis drift på både Brattøra og Heggstadmoen i tillegg.

Følgende kommer et grovt regneeksempel for investering i Cargo Beamer-løsningen. Dette eksempelet forutsetter kapasitetsscenario *K3*, som betyr fire togsett a 36 vogner. På den nye terminalen skal alle 36 vognene kunne behandles. Basert på priser i tabell 2.5 blir prisen for disse togsettene og terminalen da:

$$36 \cdot 67.000 + 4 \cdot 36 \cdot 400.000 + 20\text{mill} = 80\text{mill} \text{€} = 800\text{mill} \text{kr, gitt } 1 \text{ €} = 10 \text{ kr}$$

Utregning av prisen på den nye terminalen må imidlertid ses i lys av hvilken kapasitet den skal romme. I tillegg kommer pris til mulig grunnverv.

8.3 Fordeler med lokal omlastingsterminal på Støren

Plassering av den nye terminalen på Støren gir noen ytterligere fordeler. For det første blir det mulig å benytte seg av at Rørosbanen har lavere stigninger, og derfor kan det her trekkes lenger godstog med tilsvarende lokomotiv som på Dovrebanen. Dette er en fordel som ikke kan brukes i dag, ettersom stigninger ved Heimdal, hvor alt godset reiser til i dag, er større. En plassering på Støren fjerner imidlertid behovet for at alt gods må reise mot Trondheim.

Dersom motorvegen på E6 mellom Melhus og Ulsberg bygges vil det komme flere bompengeskjevinger. Ved å plassere terminalen på Støren slipper man å kjøre gjennom alle bomstasjonene hvis alternativet var å plassere den nye terminalen på Berkåk.

Videre ser man på ruteterminen R21 i vedlegg A at det fra Støren og sørover er en mye lavere tetthet av togavganger, noe som bør tilsa bedre banekapasitet. Dette, i samsvar med kapasitetsøkende tiltak lenger sør på Dovrebanen, bør gi muligheten til å starte nye togavganger mellom Alnabru og den nye

terminalen, såfremt Alnabru tåler en vekst i antall godstogavganger. Siden dette er en antakelse, må påstanden imidlertid undersøkes grundigere.

Godset som kommer fra blant annet Hitra og Frøya, og generelt sett fra den delen av landet, reiser gjerne på Fv700, og kommer ut på E6 på Berkåk. Dersom dette godset blir omlastet på Støren fra veg til bane, vil dette medføre at det må reise på E39 fra Orkanger til Klett, og videre på sannsynligvis en motorveg på E6. Dette bør gi god avlastning av Fv700.

9 Konklusjon

Fra godsstrømsanalysene vil det ved å anlegge nye omlastingsterminaler på Støren og Berkåk ikke overføres noe gods mellom veg og bane i følge Nasjonal godstransportmodell, NGM. De reduserte omlastingskostnadene Cargo Beamer-løsningen gav var fremdeles ikke lave nok til å gjøre de nye omlastingsterminalene mer attraktive. En viktig grunn til dette resultatet kan være at det kun var ved én av terminalene for transportetappen på bane at man fikk reduserte omlastingskostnader.

Videre fra analysene på godsoverføringspotensiale viser det seg at Dovrebanen vil ha problemer med å imøtekomme forventet godsvekst på transportrelasjonen Oslo-Trondheim-Bodø. Dette gjør at det i hovedsak ikke vil være kapasitet nok til å overføre ytterligere gods fra veg til bane ved den nye omlastingsterminalen, som igjen vil kunne dempe veksten i godstransport på veg. Dette resultatet vil i hovedsak være gyldig langs hele den delen av Dovrebanen som går i Region Trøndelag Sør. På en annen side er godsoverføringspotensialet basert på gitte kapasitetsscenarioer, som ikke trenger å være gjeldende for fremtiden. Dermed kan det ikke konkluderes med om det finnes et godsoverføringspotensiale eller ikke for mer gods fra veg til Dovrebanen. Nøyaktige kapasitetsberegninger på Dovrebanen er vesentlig for å regne på et nøyaktig godsoverføringspotensiale for Dovrebanen. Ved å vite valg av omlastingsløsning og hvilke tog som skal stoppe ved ny terminal, kan man også regne ut godsoverføringspotensialet for den nye terminalen.

Godsmengdene på veg og bane vil generelt sett øke frem mot 2050, men litt forskjellig utfra hvilke tiltak i samferdselssektoren som har blitt modellert. Bygging av ny E6 mellom Melhus og Ulsberg vil etter at bompengerevningen er slutt sørge for en noe større konkurransevne på veg. Den nye vegen vil imidlertid gjøre den nye terminalen mer tilgjengelig. Ellers vil innføring av høyere drivstoffavgifter på vegfarende kjøretøy styrke jernbanens konkurransevne betraktelig, og dermed være et dempende tiltak på godstrafikk på veg i seg selv.

Ved manglende kapasitet på jernbane, og dermed ikke mulighet til å dempe veksten i godstransport på veg, vil allikevel den nye terminalen ha viktige fordeler. For det første vil den avlaste infrastruktur i Trondheim, og da både veger og eksisterende terminaler. Videre vil bruk av horisontal omlasting kunne være mer energieffektivt. Muligheten til å etablere lokale godssirkler kan bidra til økt trafikksikkerhet og bruk av mer miljøvennlige kjøretøy på veg. Ellers vil det være egne fordeler forbundet med den nye terminalen utfra hvor den plasseres, blant annet at en ny terminal kan gjøre det enklere for næringer å etablere seg i nærheten.

For å gjøre den nye omlastingsterminalen mer attraktiv må ulike forutsetninger innfris. Den viktigste, ved siden av effektiv omlasting og da å bestemme hvilken horisontal omlastingsmetode som skal brukes ved den nye terminalen, er tilstrekkelig kapasitet på Dovrebanen. Dette vises fra analysene på godsoverføringspotensialet ettersom kapasiteten avgjør om det er mulig med mer godsoverførsel eller ikke. Viktige kapasitetsøkende tiltak vil være lengre tog, høyere fyllingsgrad på lastbærer, mer kryssningsspor på Dovrebanen, og spesielt opprusting av Rørosbanen i form av elektrifisering og fjernstyring av signalanlegg. Rørosbanen har i tillegg slakere stigninger enn Dovrebanen, som kan tilsi at det potensielt sett kan trekkes større etterhengt vekt på Rørosbanen enn Dovrebanen med samme type lokomotiv. Videre kreves god samhandling mellom alle leddene i en intermodal transportkjede for å sikre effektiv omlasting av lastbærer mellom veg og bane.

Det virker som at en ny lokalt plassert terminal kan gi viktige fordeler innenfor ønsket om økt godstransport på veg. De mulige kapasitetsproblemene på jernbane som må løses og de andre forutsetningene som bør oppfylles gjør at det kreves videre arbeid for å se om det lønner seg å bygge en ny terminal i region Trøndelag Sør, og som gjerne da kan fungere som en pilot for andre slike terminaler i Norge.

10 Videre arbeid

I forbindelse med planlegging av en ny omlastingsterminal er det vesentlig å gjennomføre en samfunnsøkonomisk analyse for å regne på om den nye terminalen kan være lønnsom. En slik analyse bør derfor gjennomføres som et videre arbeid fra denne rapporten, som i stor grad har belyst aktuelle kostnads- og nytteposter til en slik analyse. Det er imidlertid en del flere detaljanalyser som må gjøres for å få respektable tall på de ulike postene. En viktig grunn til dette er de ulike feilkildene og visse svakheter med antakelsene som har blitt brukt i godsstrømsanalysene.

Modellering av ny terminal i NGM

Å gi omlastingsterminalene på Støren og Berkåk reduserte omlastingskostnader, gav ingen resultater. En gjennomgang av modelleringen her bør gjøres på ny, for å utelukke eventuelle feil og mangler gjort i modelleringen. Terminalen på Alnabru bør også få reduserte omlastingskostnader for å se om dette kan bidra til å få økt overføring ved den nye terminalen. I tillegg bør kun én ny terminal legges inn av gangen, ikke to terminaler som ble gjort i denne masteroppgaven.

Kapasitetsanalyser

NGM tar ikke hensyn til kapasitet på jernbane. Å finne mulig kapasitet på jernbane er vesentlig for å se på godsoverføringspotensialet, og for å se om NGMs angitte godsmengder på bane og da også eksisterende terminaler faktisk er mulig. Derfor må grundige kapasitetsanalyser for Dovrebanen gjennomføres. De bør gjøres med planlagte kapasitetsøkende tiltak på Dovrebanen og andre jernbanetekniske faktorer som utgangspunkt, og ikke kun med utgangspunkt i scenarier på tog lengde og -avganger. I tillegg bør det gjøres tilleggsberegninger for banekapasitet gitt at Rørosbanen blir mer aktuell å bruke for godstransport. Mer sikre og nyere utregnede tall på kapasitet på de eksisterende terminalene i Trondheim bør også skaffes. Kapasitetsberegningen bør også ta hensyn til retningsbalanse, og at det kan være tomme lastbærere som opptar plassen til andre fulle lastbærere som potensielt sett kan reise med tog.

Godsmengder ved eksisterende terminaler og på bane

I forbindelse med scenariene for godsmengder, bør også motorveg hvor gjennomsnittshastigheten på de tunge kjøretøyene er 80 km/t testes ut. Dette fordi 70 km/t kun var en antakelse, og det burde derfor ha blitt gjort en sensitivitetsanalyse rundt gjennomsnittshastigheten. I tillegg kan man muligens forvente kraftigere kjøretøy i fremtiden som bedre holder farten i stigningene på motorvegen. I tillegg bør man også inkludere infrastrukturavgiften på bane i et scenario. Det er nesten en forutsetning at denne fjernes for å få økt togtransporten, men det bør allikevel ses på hvordan godsmengdene er med infrastrukturavgiften innført ettersom det ikke nødvendigvis er gitt at den skal fjernes. Optimalt sett bør godsmengdene bli funnet i hver retning og ikke som summen av begge retningene som er brukt i denne rapporten.

Hva skal omlastes ved ny terminal?

Alt etter hvilken kapasitet det er på Dovrebanen vil den nye terminalen fungere som enten avlastingsterminal til terminaler i Trondheim, eller omlastingsterminal for gods som per i dag reiser på veg. Den kan optimalt sett fungere som begge deler. Etter hvert som man har fått gjort grundigere godsstrømsanalyser bør det dermed bestemmes tydelig hvilken funksjon terminalen skal ha. Hvilken funksjon den har kan også påvirke hvordan godsstrømmene i Region Trøndelag sør utvikler seg.

I tillegg bør det avgjøres om man også skal la konvensjonelle tog stoppe ved terminalen, eller kun tog egnet for valgt løsning for horisontal omlastning. Eventuelt om det skal gå togsett som har både konvensjonelle vogner og vogner tilpasset den horisontale omlastingsløsningen. Dette er vesentlig å vite fordi dersom man har togsett på Dovrebanen som ikke stopper ved den nye terminalen, vil dette også være kapasitet man ikke får utnyttet på den nye terminalen.

Hvilke lastbærere omlastingen ved ny terminal skal gjelde for

De fleste horisontale omlastningsmetoder setter krav til hvilke lastbærere som kan omlastes. Det bør dermed fastsettes hvilke lastbærere som vil være mest aktuelle å overføre ved den nye terminalen. Dette vil være et steg nærmere til å bestemme hvilken løsning for horisontal omlasting som skal benyttes.

Inkludering av modulvogntog i godstrømsanalysene

Godsstrømsanalysene inkluderer også modulvogntog. Ettersom disse har lavere enhetskostnader for transport, er det gjerne ikke disse kjøretøyene og deres lastbærere som vil være aktuelle for omlasting ved den nye terminalen. Det må derfor bestemmes om man skal inkluderes modulvogntog eller ikke, når man ser på godsmengder på veg.

Bestemme horisontal omlastingsløsning

Det finnes ulike måter å utføre horisontal omlasting. I lys av hvilke funksjoner man ønsker at den nye terminalen skal ha, samt i hvor stor grad den skal samsvare med konvensjonelle terminaler, må den mest optimale løsningen bestemmes. Å vite løsningen gir et bedre datagrunnlag på omlastingsmetode og pris for terminalutbygging.

Godsmengder angitt i antall kjøretøy

For godstrømsanalysene gis alle mengder i tonn gods. For å se hvilken effekt en eventuell omlasting mellom veg og bane har på antall tunge kjøretøy på vegen per døgn ($\dot{A}DT_T$) må man finne gode metoder for å konvertere mellom tonn gods og $\dot{A}DT_T$. Dette kan løses ved å se på hvilke kjøretøy som frakter lastbærerne til omlastingsterminalen, samt deres gjennomsnittsvekt på nyttelast.

Grundige analyser på miljøeffekter

Man bør se på hvordan løsningen med lokale terminaler slår ut på utslipp av drivhusgasser og andre partikler. Dette bør gjøres som en fullstendig livssyklusanalyse, og vil være et viktig bidrag til en samfunnsøkonomisk analyse. Slike analyser krever imidlertid mer spesifikke tall på godsoverføringspotensiale ved den nye terminalen.

Næringens innstilling til konseptet

Når konseptet lokal omlastingsterminal er ytterligere utredet, bør man forhøre seg med aktuelle næringer og samlastere om deres innstilling til et slikt konsept.

Alternativ til nytt logistikknutepunkt i Trondheim?

Man bør se grundigere om den lokale terminaler kan være et fullverdig alternativ til det planlagte logistikknutepunktet i Trondheim, som enten vil være ny terminal på Torgård, eller utbygging av Heggstadmoen. Info om utbygging av Heggstadmoen ble sett bort fra i denne masteroppgaven ettersom det ikke fantes info om dette da masteroppgavens bakgrunn og hensikt ble valgt. Videre utredning bør dermed ses i lys av utbygging av Heggstadmoens kostnader, og hvorvidt små lokale terminaler kan være konkurransedyktige mot en utbygging av Heggstadmoen.

Terminalstruktur i et langtidsperspektiv

I et langtidsperspektiv kan man se på muligheten å anlegge flere omlastingsterminaler langs Dovrebanen og andre banestrekninger. Løsninger som Cargo Beamer er effektive, og kan enklere stoppe flere steder langs ruten uten større forsinkelser. Flere terminaler vil kunne øke togets fleksibilitet.

Referanser

- Bane NOR (2019). *Networkstatement 2021*. Utgave 18. URL: <http://networkstatement.jbv.no/doku.php?id=2021>.
- Bane NOR (Ukjent år[a]). *Dovrebanen*. URL: <https://www.banenor.no/Jernbanen/Banene/Dovrebanen/>.
- Bane NOR (Ukjent år[b]). *Godsterminaler*. lest 03.05.2020. URL: <https://www.banenor.no/kundeportal/jernbanen-i-norge/infrastruktur/godsterminaler/>.
- Borø, Nathalie Kornelia og Julie Hjortland (2021). «Plassering av omlastingsterminal i region Trøndelag Sør». Upublisert. Masteroppg. NTNU.
- Cargo Beamer (ukjent år). *Cargo Beamer*. Lest 26.04.2021. URL: <https://www.cargobeamers.com/>.
- Civitas (2012). *Utvikling av Røros- og Solørbanen*. Rapport 11.09.2012. Civitas. URL: https://www.ostsam.no/wp-content/uploads/2016/11/Utvikling-av-Rros-og-Solrbanen_rapport-sept-2012.pdf.
- Civitas (2013). *Elektrifisering nå!* Rapport 14.10.2013. Civitas. URL: https://www.ostsam.no/wp-content/uploads/2016/11/Rros-og-Solrbanen_rapport-elektrifisering.pdf.
- Drösemeyer, Helge (2017). *T2033 Godstrafikk, Innspill til NTP2022-2033, ramme A og B*. Dokumentnr. 201701763-12, rev 05a. Jernbanedirektoratet. URL: <https://www.regjeringen.no/contentassets/13a80858d58a47e1a23e944b7144ee9b/j-jernbanedirektoratet-og-banenor---prioriteringer-i-jernbanesektoren.pdf>.
- Dybdahl, Trygve (2018). «Samhandling av gods mellom vei og bane». Masteroppg. NTNU.
- Fevang, Per Anton (2016). *Networkstatement metervekt*. Banedata 2013 ISBN 978-82-90286-35-9. URL: <http://networkstatement.jbv.no/doku.php?id=vedlegg:metervekt>.
- Foss, Trond, Odd Larsen, Jens Rekdal og Terje Tretvik (2010). *Utredning av vegavgift for tunge kjøretøy*. Sintef-rapport A15768. SINTEF, s. 30. URL: https://www.sintef.no/globalassets/upload/teknologi_samfunn/6060/rapporter-2010/a15768_utredning-av-vegavgift-for-tunge-kjoretoy.pdf.
- Franzen, Kay (2021). Mailkorrespondanse med Kay Franzen, Terminalsjef Nord i CargoNet.
- Gjersum, Haakon (2021). Mailkorrespondanse med Haakon Gjersum ved Jernbanedirektoratet.
- Grønland, Stein Erik (2018). *Kostnadsmodeller for transport og logistikk - basisår 2016*. TØI-rapport 1638/2018. Transportøkonomisk institutt. URL: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=48556>.
- Grønland, Stein Erik, Inger Beate Hovi, Paal Brevik Wangsness og Elise Caspersen (2014). *Næringslivets logistikksystemer. Hvordan ser de ut*. TØI-rapport 1371/2014. Transportøkonomisk institutt. Kap. 1, 3, 5. URL: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=39188>.
- Grønland, Stein Erik, Christian S Mjøsund og Inger Beate Hovi (2018). *Lastbærere i intermodal jernbanetransport i Norge*. TØI-rapport 1670/2018. Transportøkonomisk institutt. URL: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=49206>.
- Halse, Askill Harkjerr, Christian Mjøsund, Marit Killi, Stefan Flügel, Guri Natalie Jordbakke, Inger Beate Hovi, Marco Kouwenhoven og Gerard de Jong (2019). *Bedrifters verdsetting av raskere og mer pålitelig transport*. TØI-rapport 1680/2019. Transportøkonomisk institutt. URL: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=50067>.

-
- Hansen, Thor Erik Sandberg, Gisle Solvoll og Finn Jørgensen (2007). *Næringslivets avstandskostnader*. SIB-rapport nr. 4/2007. Handelshøyskolen i Bodø - Senter for Innovasjon og Bedriftsøkonomi. Kap. 2.
- Homleid, Tor, Tyra Ekhaugen og Vivan Dyb (2016). *Forsøk på å beskrive det ugjennomtrengelige - en vurdering av Nasjonal godsmodell*. Rapport 2016/52. Vista Analyse. URL: https://vista-analyse.no/site/assets/files/6278/va-rapport_2016-52_forsok_pa_a_beskrive_det_ugjennomtrengelige_-_en_vurdering_av_nasjonal_godsmodell.pdf.
- Hovi, Inger Beate og Stein Erik Grønland (2011). *Konkurransflater i godstransport*. TØI-rapport 1125/2011. Transportøkonomisk institutt. URL: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=16228>.
- Hovi, Inger Beate, Berit Grue og Elise Caspersen (2014). *Analyse av havners, jernbaneterminalers og samlastterminalers omland*. TØI-rapport 1360/2014. Transportøkonomisk institutt. URL: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=39211>.
- Hovi, Inger Beate, Tron Even Skyberg og Knut Bøe (1999). *Konkurransflater i godstransport og intermodale transporter*. TØI-rapport 447/1999. Transportøkonomisk institutt. Kap. Sammen- drag. URL: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=4982>.
- Islam, Dewan Md Zahurul, Stefano Ricci og Bo-Lennart Nelldal (2016). «How to make modal shift from road to rail possible in the European transport market, as aspired to in the EU Transport White Paper 2011». I: *European transport research review* 8.3, s. 18. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12544-016-0204-x>.
- Jernbanedirektoratet (2018). *Jernbanesektorens handlingsprogram 2018-2029*. Jernbanedirektora- tet. URL: <https://www.jernbanedirektoratet.no/contentassets/721c11925b0149c7887d8af788760d4c/hp-rapport-fastsatt-v7aug2018.pdf>.
- Jernbanedirektoratet (2019a). *Godsstrategi - NTP 2022-2033*. Jernbanedirektoratet. URL: <https://www.jernbanedirektoratet.no/globalassets/strategier-og-utredninger/godsstrategi/godsstrategi---hovedrapport.pdf>.
- Jernbanedirektoratet (2019b). *Nåsituasjon og muligheter for godstransport på jernbane*. Jernbane- direktoratet. URL: <https://www.jernbanedirektoratet.no/globalassets/strategier-og-utredninger/godsstrategi/delrapport-i---situasjonsbeskrivelse-og-potensialanalyse.pdf>.
- Jernbanedirektoratet (2019c). *Tilleggsutredning Logistikknutepunkt i Trondheimsregionen*. Doku- ment nr.: 201800586-38. Jernbanedirektoratet. URL: <https://www.jernbanedirektoratet.no/contentassets/6fb6cc1da26a49bfbbe1ddae2a3514f8/tilleggsutredning-torgard--sekketerminal.pdf>.
- Jernbanedirektoratet (2020a). *Mulighetsstudie for Heggstadmoen og endelig anbefaling av logis- tikknutepunkt for Trondheimsregionen*. Nyhet fra jernbanedirektoratet lest 08.06.2020. URL: <https://www.jernbanedirektoratet.no/no/strategier-og-utredninger/utredninger/kvu-logistikknutepunkt-i-trondheimsregionen/mulighetsstudie-for-heggstadmoen-og-endelig-anbefaling-av-logistikknutepunkt-for-trondheimsregionen/>.
- Jernbanedirektoratet, Bane NOR (2020b). *Prioriteringer i jernbanesektoren. Nasjonal transport- plan 2022-2033: Oppdrag 9*. Regjeringen. URL: <https://www.regjeringen.no/contentassets/13a80858d58a47e1a23e944b7144ee9b/j-jernbanedirektoratet-og-bane-nor---prioriteringer-i-jernbanesektoren.pdf>.
- Klemenčić, Mitja og Robert Burg (2018). *Data base and comparative analysis of CT and tranship- ment technologies for CT*. Deliverable D.T.1.2.1. Interreg Alpine Space.
-

-
- Kristensen, Niels Buus (2019). *Framtidens transportbehov, Analyse og fortolkning av samfunnstrender og teknologiutvikling*. TØI-rapport 1723/2019. Transportøkonomisk institutt. URL: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=51764>.
- Langeland, Per Andreas og Ross Owen Phillips (2016). *Tunge kjøretøy og trafikkulykker*. TØI-rapport 1494/2016. Transportøkonomisk institutt. URL: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=43094>.
- Lavoll, Øyvind Teodor (2016). «Utbygging av godsterminaler for jernbane». Masteroppg. NTNU.
- Lowe, David (2006). «Intermodal freight transport». I: Routledge. Kap. 13.
- Madslie, Anne, Nina Hulleberg og Chi Kwan Kwong (2019). *Framtidens transportbehov. Fremskrivninger for person- og godstransport 2018-2050*. TØI-rapport 1718/2019. Transportøkonomisk institutt. URL: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=51596>.
- Madslie, Anne og Chi Kwan Kwong (2015). *Klimagasseffekt ved ulike tiltak og virkemidler i samferdselssektoren - transportmodellberegninger*. TØI-rapport 1427/2015. Transportøkonomisk institutt. URL: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=41199>.
- Madslie, Anne, Christian Steinsland og Stein Erik Grønland (2015). *Nasjonal godstransportmodell. En innføring i bruk av modellen*. TØI-rapport 1429/2015. Transportøkonomisk institutt. URL: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=43020>.
- Melum, Roar (2021). Samtale med Roar Melum, Regionsjef Trøndelag i Norges lastebileier-forbund (NLF).
- Mjøsund, Christian S, Daniel Ruben Pinchasik, Stein Erik Grønland og Inger Beate Hovi (2019). *Nordiske virkemidler for overføring av godstransport fra veg til sjø og bane*. TØI-rapport 1706/2019. Transportøkonomisk institutt. URL: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=50612>.
- Modalohr (2003). *Modalohr: The successful rail/road transport solution*. Informal document No. 1. United Nations: Economic og social council. URL: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/wp24/documents/inf-1e.pdf>.
- Nicolaisen, Tor (2020). Samtaler med Tor Nicolaisen ved Jernbanedirektoratet.
- Nielsen, Kenneth (2017). *Standarder for kapasitetsplanlegging*. Dokumentnr. 201701227-1. Jernbanedirektoratet. URL: <https://www.jernbanedirektoratet.no/globalassets/documenter/handboker/kapasitet-og-begrepskatalog/jernbanedirektoratets-standarder-for-kapasitetsplanlegging.pdf>.
- Norges lastebileier-forbund (2016). *Temahefte Miljø*. 2. utgave. Norges lastebileier-forbund.
- Nye Veier (2017). *E6 Ulsberg - Melhus*. Nye Veier. URL: https://www.nyeveier.no/media/1490/saksgrunnlag-e6-ulsberg-melhus_endelig-versjon_24042017.pdf.
- Nye Veier (Ukjent år). *Interaktivt kart for alle strekningene*. URL: <https://www.nyeveier.no/kart/>.
- Oslo Economics (2015). *Konkurransanalyse av godstransportmarkedet*. OE-rapport 2015-9, På oppdrag fra Samferdselsdepartementet. Oslo Economics, s. 53.
- Oslo Economics (2018). *Konkurransanalyse av markedet for godstransport på jernbane*. OE-rapport 2018-35. URL: <https://osloeconomics.no/wp-content/uploads/Konkurransanalyse-godstransport-29nov2018.pdf>.
- Riksrevisjonen (2018). *Riksrevisjonens undersøkelse av overføring av godstransport fra vei til sjø og bane*. Dokument 3:7 (2017–2018).

-
- Široký, Jaromír (2012). «The trends of road trailers systems for railways». I: *Perner's Contacts* 7.4, s. 137–151.
- Spurkeland, Einar (2021a). *Intermodal transport*. Lest 20.04.21. URL: https://snl.no/intermodal_transport.
- Spurkeland, Einar (2021b). *Lastebil*. Lest 05.05.21. URL: <https://snl.no/lastebil>.
- Statens vegvesen (2007). *Analyse av ulykkessteder*. Håndbok 115. Statens Vegvesen, s. 12. URL: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=43094>.
- Sundfjord, øyvind, Ingvild Nordtveit og Stian Brosvik Bayer (2018). *Godsundersøkelse for Vestlandet*. Oppdragsnummer 613970-01. Statens vegvesen.
- Svingheim, Njål (2018). *Rørosbanen*. URL: <https://www.jernbanedirektoratet.no/no/jernbanesektoren/jernbanenettet-i-norge/banestrekningene/rorosbanen/>.
- Svingheim, Njål (2016). *Bygger beredskapsterminaler for godstrafikken*. Nyhet fra Bane NOR lest 03.05.2020. URL: <https://www.banenor.no/Nyheter/Nyhetsarkiv/2016/bygger-beredskapsterminaler-for-godstrafikken/>.
- Wangsness, Paul Brevik, Torkel Bjørnskau, Inger Beate Hovi, Anne Madslien og Rolf Hagman (2014). *Evaluering av prøveordning med modulvogntog*. TØI-rapport 1319/2014. Transportøkonomisk institutt. URL: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=36910>.

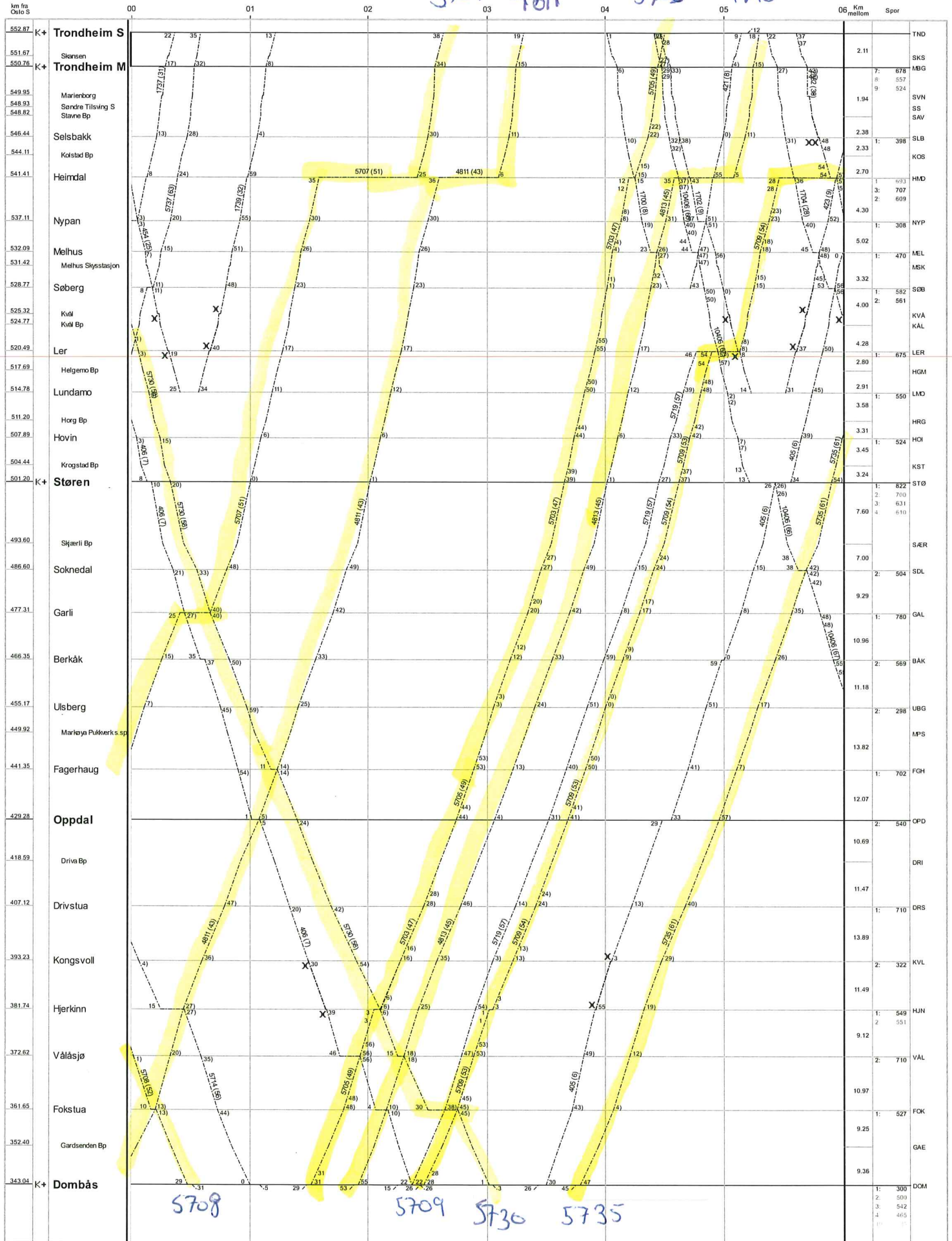
Vedlegg

A Rutetermin R21 på Dovrebanen

Dette vedlegget viser Bane NORs rutetermin R21 for Dovrebanen mellom Dombås og Trondheim. Markert i gult vises de kombitogavgangene som trafikkerer strekningen mellom Oslo og Trondheim, eventuelt Oslo og Bodø. Vedlegget brukes til å kartlegge når togavgangene er.

BLAD NR. 11, TRONDHEIM S - DOMBÅS

5707 4811 5703 4813



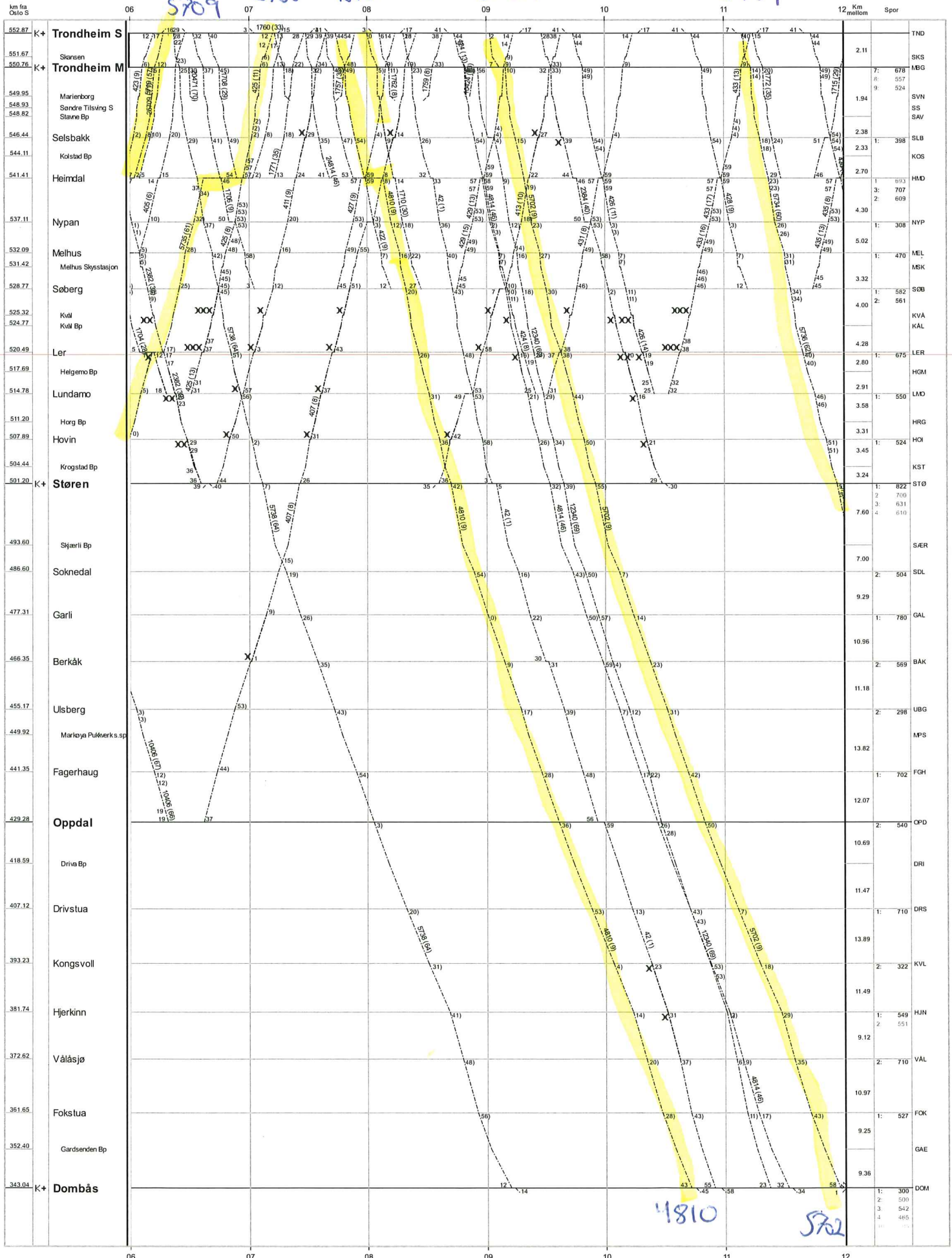
--- Andre jøredagsmonster
▽ Ubeholdt lørdager unntatt helligdager
• Kjødebrudd
⊗ Ombeholdt, se tjenestereguleringen
▲ Ubeholdt alle dager
△ Ubeholdt helligdager
▼ Ubeholdt hverdager
⊕ Ubeholdt lørdager og helligdager

Til Bodø ↑

Fra Bodø ↓

BLAD NR. 11, TRONDHEIM S - DOMBÁS

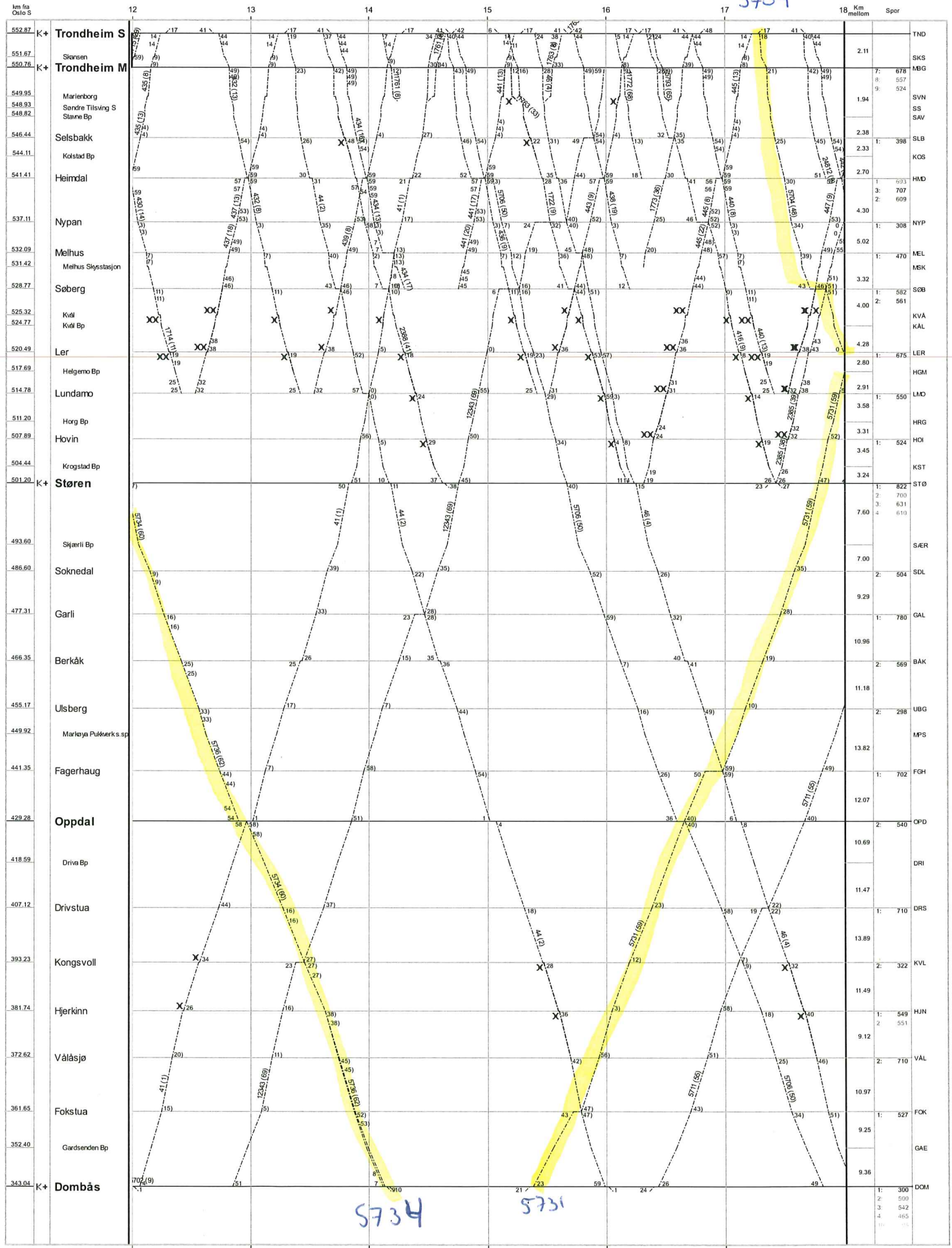
5709 5755 4810 5702 5734



--- Andre hverdagsmonster
 ▽ Ubeholdt lørdager unntatt helligdager
 * Kjedebrudd
 ⊗ Om betjening, se tjenestereguleringen
 ▲ Ubeholdt alle dager
 △ Ubeholdt helligdager
 ▽ Ubeholdt hverdager
 ⊕ Ubeholdt lørdager og helligdager

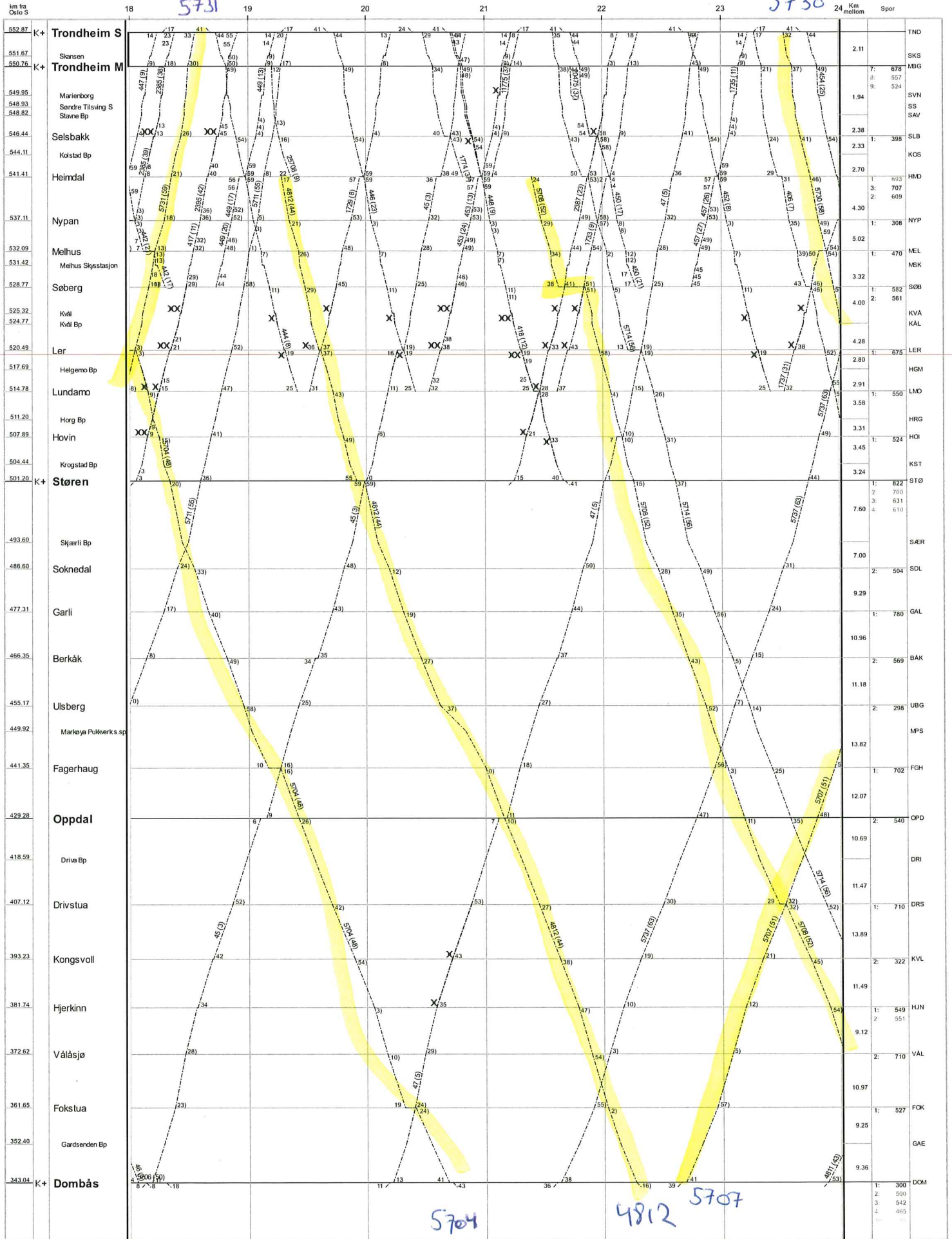
BLAD NR. 11, TRONDHEIM S - DOMBÅS

(BILTOX)
5704



--- Andre fjøredagsmønstre Kjødetrudd ☉ Om betjening, se tjenestebestillingen ▲ Ubetjent alle dager △ Ubetjent helligdager ▼ Ubetjent hverdager ☼ Ubetjent lørdager og helligdager

BLAD NR. 11, TRONDHEIM S - DOMBÅS



--- Andre fjøredagsmønstre * Kjædebrudd ◻ Om betjening, se fjøneruteretoken ▲ Ubetjent alle dager △ Ubetjent helligdager ▼ Ubetjent hverdager ◻ Ubetjent lørdager og helligdager

B Oversiktskart ny E6

Oversiktskart over ny E6 mellom Melhus og Ulsberg, samt hvor bompengeneinnkreving vil skje (Nye Veier, 2017). For E6 gjennom Soknedal vil det være en egen bompengeneinnkreving som ikke er markert i oversiktskartet. Seksjoneringen av vegparsellene i oversiktskartet avviker noe fra hvordan de er seksjonert i dag og dermed hvordan seksjoneringen vises i vedlegg C.



Kilder:

Nye Veier (2017). *E6 Ulsberg - Melhus*. Nye Veier.

C Strekningsdata ny E6 Trøndelag

Vegdata						
Delstrekning	Dagens Lengde [km]	Forventet Lengde [km]	Lengdeendring [km]	Prosentvis lengdeendring	Bompenger (2017-kr)	Bompenger (2016-kr)
Melhus-Kvål	7	7	0	0	66,00 kr	64,80 kr
Kvål-Gyllan	18	17	-1	-5,6 %	86,00 kr	84,50 kr
Gyllan-Koroporalsbrua	15	16	+1	6,7 %	86,00 kr	84,50 kr
E6 Soknedal	7,5	6,5	-1	-13,3 %	80,00 kr	78,50 kr
Vindåsliene-Ulsberg	28	25	-3	-10,7 %	54,00 kr + 54,00 kr	53,00 kr + 53,00 kr
SUM	75,5	71,5	-4	-5,3 %	426,00 kr	418,30 kr

E6 Soknedal er allerede åpnet i 2020. Ettersom basisscenariet i NGM er for 2018, regnes dette derfor som en del av den nye motorvegen på E6 mellom Melhus og Ulsberg. Derfor behandles delstrekningen på lik linje som resterende delstrekninger mellom Melhus og Ulsberg.

Prisendringer mellom ulike kronerår er basert på endring i konsumprisindeksen til SSB, og er funnet ved deres egen prisendringsskalkulator (<https://www.ssb.no/kpi?fane=tabell>). For E6 Soknedal er bompengesatsen fra kilde gitt i 2020-kr. Prisendringsskalkulatoren er her brukt for å tilpasse prisen i 2017- og 2016-kr. Kostnadsmodellen i NGM bruker 2016-kr, derfor er alle priser også oppgitt i 2016-kr. E6 Soknedal er i tillegg bygget av Statens Vegvesen, mens Nye Veier har ansvaret for resten av E6 mellom Melhus og Ulsberg.

Kilder for vegdata

Delstrekning	Kilde «Forventet Lengde»
Melhus-Kvål	Nye Veier, E6 Kvål – Melhus S, https://www.nyeveier.no/prosjekter/e6-trondelag/e6-kval-melhus-s/
Kvål-Gyllan	Nye Veier, E6 Gyllan – Kvål, https://www.nyeveier.no/prosjekter/e6-trondelag/e6-gyllan-kval/
Gyllan-Koroporalsbrua	Nye Veier, E6 Koroporalsbrua – Gyllan, https://www.nyeveier.no/prosjekter/e6-trondelag/e6-koroporalsbrua-gyllan/
E6 Soknedal	Statens vegvesen, Ny E6 i Soknedal offisielt åpnet, https://www.vegvesen.no/Europaveg/e6soknedal/nyhetsarkiv/ny-e6-i-soknedal-offisielt-apnet
Vindåsliene-Ulsberg	Nye Veier, E6 Ulsberg – Vindåsliene, https://www.nyeveier.no/prosjekter/e6-trondelag/e6-ulsberg-vindasliene/

Kilder for bompenger

For alle strekninger utenom E6 Soknedal
 Nye Veier (2017), E6 Ulsberg – Melhus, https://www.nyeveier.no/media/1490/saksgrunnlag_e6-ulsberg-melhus_endelig-versjon_24042017.pdf

For E6 Soknedal

Vegamot, E6 Vindåsliene Takster og Rabatter, https://www.vegamot.no/Takster_og_rabatter-6.aspx

«Dagens Lengde» er funnet fra Google Maps, hvor start og slutt av strekning tilsvarer det som er angitt i kildene for «Forventet Lengde»

D Drivstoffpriser, historiske og fremskrevde

Drivstoffprisen som er inkludert alle avgifter består av en CO₂-avgift, vegbruksavgift, pris på selve drivstoffet, og moms av alle disse komponentene. Formel for drivstoffpris inkludert avgifter kan skrives som følgende:

$$\text{Drivstoffpris inkl. avgift} = (1 + \text{MVA}) \\ * (\text{CO}_2\text{avgift} + \text{vegbruksavgift} + \text{innkjøpspris drivstoff})$$

Det er forespeilet en avgiftsøkning på CO₂-avgift fra 590 kr per tonn i 2021 til 2000 kr per tonn i 2030 [1]. Det er med utgangspunkt i denne informasjonen det i følgende skal vises hvordan drivstoffprisen kan være i 2030. I tillegg vises historiske drivstoffpriser til bruk for 2018-tall i NGM. Drivstoffpris eksklusive avgifter er funnet ved å gjøre om på formelen ovenfor og sette inn annen inndata som vist i tabell 1.

Tabell 1: Historiske drivstoffpriser- og avgifter, samt utregnet drivstoffpris eksklusive avgifter

År	Drivstoffpris Inkl. Avgift [2]	Vegbruksavgift (lavsvovlet/ Svovelfri diesel) [3]	CO ₂ -avgift [3]	MVA [3]	Drivstoffpris eks. avgift
2005	9,54 kr	2,92 kr	0,52 kr	25%	4,19 kr
2006	10,21 kr	2,97 kr	0,53 kr	25%	4,67 kr
2007	10,32 kr	3,02 kr	0,54 kr	25%	4,70 kr
2008	12,28 kr	3,40 kr	0,55 kr	25%	5,87 kr
2009	10,72 kr	3,50 kr	0,57 kr	25%	4,51 kr
2010	11,76 kr	3,56 kr	0,58 kr	25%	5,27 kr
2011	13,07 kr	3,62 kr	0,59 kr	25%	6,25 kr
2012	13,22 kr	3,68 kr	0,60 kr	25%	6,30 kr
2013	13,14 kr	3,75 kr	0,61 kr	25%	6,15 kr
2014	13,11 kr	3,82 kr	0,62 kr	25%	6,05 kr
2015	12,23 kr	3,36 kr	1,09 kr	25%	5,33 kr
2016	11,66 kr	3,44 kr	1,12 kr	25%	4,77 kr
2017	13,44 kr	3,80 kr	1,20 kr	25%	5,75 kr
2018	14,86 kr	3,75 kr	1,33 kr	25%	6,81 kr
2019	14,89 kr	3,81 kr	1,35 kr	25%	6,75 kr
2020	13,86 kr	3,62 kr	1,45 kr	25%	6,02 kr
2021	---	---	1,58 kr	25%	---

Historisk drivstoffpris gis månedsvis. Dermed er det tatt gjennomsnittet av prisen for alle månedene i et år for å angi drivstoffpris det året. 2021 er ikke medregnet ettersom utregningene er gjort dette året, og man ikke har fullstendig datagrunnlag for dette året da.

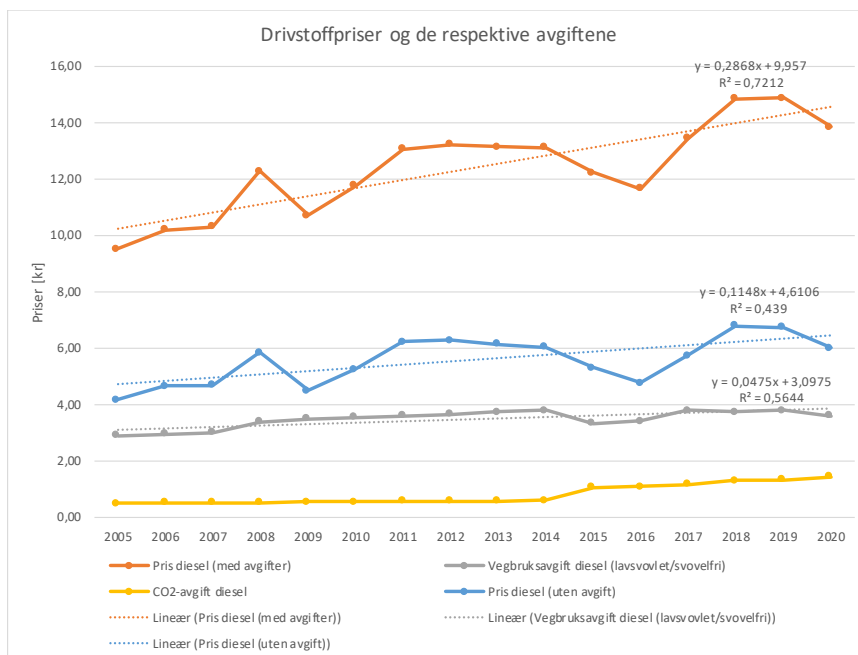
Utregning av fremtidig CO₂-avgift

590 kr til 2000 kr tilsvarer en økning på $(2000-590)/590=239\%$ i CO₂-avgift fra 2021-nivå.

Dette tilsvarer en ny CO₂-avgift på $1,58+1,58*2,39 = \underline{5,35\text{kr}}$

Fremskriving av drivstoffpris

De ulike parameterne som drivstoffprisen består av er vanskelig å fremskrive. Figur 1 viser inndataen fra tabell 1 som grafer, inkludert kurvene for lineær regresjon for inndataene.



Figur 1: Historiske drivstoffpriser og avgifter. Også kurvene for lineær regresjon

En måte å fremskrive drivstoffprisen på er å bruke utregnet CO₂-avgift for 2030, og regresjon på de andre avgiftene. Det viser seg imidlertid at R-tallet for regresjonen er såpass lavt (bør ligge mot 1 for god sikkerhet), at fremskrivning av drivstoffpris basert på regresjon har svært stor usikkerhet.

Dermed regnes drivstoffprisen for 2030 ut basert på drivstoffpris lik som i 2018, men med CO₂-avgift som i 2030. Vegbruksavgiften settes dermed også som i 2018 ettersom denne uansett er vanskelig å anta for fremtiden, mye fordi hvilken politikk som føres i det gjeldende året også er avgjørende for avgiftsnivået. Dette utsagnet gjelder også for CO₂-avgiften, men ettersom det er satt en konkret tall på avgiftsnivået for 2030, er det interessant å se på effekten av dette. 2018 velges som utgangspunkt, ettersom dette er året basisscenarioet i NGM gjelder for. Drivstoffprisen for 2018 settes da også i som 14,86 kr i kostnadsmodellen i NGM basert på dataen i tabell 1. For 2050 er det ikke gjort noen ytterligere utregninger da det er alt for langt frem i tid til å gjøre noen kvalifiserte fremskrivinger.

Basert på formelen på drivstoffpris inkl. avgift blir drivstoffprisen for 2030:

$$1,25 * (5,35 + 3,75 + 6,81) = \underline{19,89 \text{ kr}}$$

For basisscenariene settes drivstoffprisen til 14,86 kr

Kilder

- (1) Klima- og Miljødepartementet (2021). *Meld. St. 13, Klimaplan for 2021–2030*. Regjeringen. Side 22.
- (2) SSB (2021) *Sal av petroleumprodukt. 09654: Priser på drivstoff (kr per liter) 1986M08 – 2021M04*. Statistisk sentralbyrå. <https://www.ssb.no/statbank/table/09654>
- (3) Regjeringen. *Prop. 1 LS. Avgiftsnivået er funnet fra proposisjoner fra årene 2005–2021*.

E Modellering av ny terminal i NGM

Dette vedlegget viser hvordan modellering i NGM av de nye terminalene på Støren og Berkåk ble gjort, og at korrekte omlastingspriser ble lagt inn.

All endring ble gjort i applikasjon 3 i NGM, denne applikasjonen består av to Excelark: Kostnadsmodellen og terminaler. I kostnadsmodellen settes nye priser på terminalene. Siden disse ikke samsvarer med andre eksisterende priser, legges disse under en ny terminalkategori (kat. 4) og deretter oppdateres terminalene i det andre regnearket med den riktige terminalkategorien.

Ny terminalkategori i kostnadsmodellen

1. Starter et nytt scenario for 2030 som skal se på de nye terminalene
2. Satte drivstoffprisen til vegfarende kjøretøy til 14,86 kr. (Hvordan dette gjøres forklares nøyere i vedlegg G)
3. Antar Cargo Beamer løsning. Omlastingen koster dermed 75 € per 20 tonn (ref. Kapittel 2.7.4). Siden enheten må være kr/tonn, blir dette 3,75€ som grovt sett tilsvarer 37,5 kr.
4. Omlastingskostnaden fra veg til bane = lossekostnad for lastebil + lastekostnad for tog - omlastingsfradrag. Og tilsvarende motsatt fra bane til veg. For å få angitt rett omlastingskostnad i kostnadsmodellen må både losse- og lastekostnad, samt omlastingsfradrag angis. Disse kostnadene finnes ikke for den nye terminalen, kun omlastingskostnaden i seg selv. Dermed settes omlastingsfradraget lik 0, og lossekostnad og lastekostnad lik $37,5/2 = 18,75$ kr. Prisen legges inn under egenskapen *(Un)loading*. Dette bør gå fint ettersom terminalkategori 4 ikke brukes for andre terminaler, og de nye terminalene kun skal fungere som omlastingsterminaler.
5. Endring av selve kostnadene gjøres under egne faner. For tog, hvor alle togegenskaper er angitt banevis, gjøres de på Dovre- og Rørosbanen. I tillegg finnes det en egen kjøretøyegenskapsfane. Der gjøres også endringene for tog, men også lastebil.
6. Under fanen «Bane 6...» settes pris til 18,75 kr for *4(Un)loading* (kolonne v) for transportmidlene 7-1, 7-4, B-1, B-4. Under fanen «Bane 14...» gjør tilsvarende, men her må endringene gjøres i kolonne x.
7. I «Vehicles - Output»-fanen settes også kolonnen *4(Un)loading* til 18,75 kr. Dette gjelder kjøretøyene 2-1, 2-2, 2-3, 2-6, 7-1, 7-4, B-1, B-4. Det er disse transportmidlene som er valgt fordi de antas mest aktuelle for intermodal transport. I tillegg foreslår kostnadsmodellen ulike omlastinger som er umulig. Valg av disse transportmidlene ser ikke ut til å være i konflikt med dette.
8. De transportmidlene som ikke endres får omlastingspriser tilsvarende terminalkategori 2, som er default-verdi.
9. Ettersom omlastingsfradraget settes lik 0 for denne tankemåten, gjøres dette i fanen «Transfer – output». Her er det kolonnen *4CorrectionNOKper tonn* som får endringene. Basert på valgte transportmidler settes omlastingsfradraget lik 0 for følgende rader i nevnt kolonne: 28, 29, 31, 32, 40, 44, 96, 107, 108, 128, 139, 140.
10. Deretter kjøres og lukkes kostnadsmodellen

Endring av terminaler

1. For samme scenario som ovenfor åpnes regnearket «Terminaler»
2. Her er det en grov inndeling i transportmidler som er aktuelle på terminal, samt hvilke varetyper som kan omlastes. De transportmidlene som endres er *Roadllclass* og *OtherRailClass*, og dette gjøres for alle varetyper.
3. I nettverket i NGM lå det allerede terminaler på Berkåk og Støren selv om det ikke er noe godsoverføring der. En hypotese er at endring av terminalkategori kan gjøre noe med dette.
4. Gjør endringene på terminal 7037 og 7032 (Berkåk og Støren). Her settes *Roadllclass* og *OtherRailClass* lik 4. I tillegg må biler tillates på terminalen, ikke kun tog. Dette gjøres ved å sette *Road_available=1* for 7037 og 7032.
5. Lukker så terminalredigeringen og kjører modellen.

Ny kjøring med høyere drivstoffavgift

Gjennomføringen som vist over gav ingen resultat. Det ble derfor forsøkt å gjøre tilsvarende som over, men med drivstoffpris på 19,89 kr, som skulle tilsi mer banetransport. Omlastingen skjedde imidlertid fortsatt ikke ved de nye terminalene.

F Utregning av kapasitet og vekter på jernbane

Inndata

Kapasiteten er regnet ut fra formlene vist i selve rapporten. I det følgende kommer imidlertid ulike egenskapsdata på konvensjonelle tog, og togsatt som bruker Cargo Beamer-løsningen.

Tabell 1: Egenskapsdata til konvensjonelle tog

Egenskap	Verdi	Kilde
Vognlengde	34 m	[1]
Lengde lokomotiv	20 m	[1]
TEU pr vogn	4 TEU	[1]
Utnyttelsesgrad	100 %	Antakelse
Vognvekt	35 tonn	[1]
Vekt elektrisk lokomotiv	84 tonn	[2]
Vekt TEU	9,5 tonn/TEU, evt. 12 tonn/TEU	[1] / [3]

Tabell 2: Egenskapsdata for Cargo-Beamer løsning

Egenskap	Verdi	Kilde
Vognlengde	16,2 m	[4]
Lengde lokomotiv	20 m	Antakelse basert på tall fra konvensjonell løsning
LU pr vogn	1 LU	[4]
Utnyttelsesgrad	100 %	Antakelse
Vognvekt	31 tonn	[4]
Vekt elektrisk lokomotiv	84 tonn	Antakelse basert på tall fra konvensjonell løsning
Vekt LU	20 tonn	[4]

Tabell 3: Annen egenskapsdata

Egenskap	Verdi	Kilde
Antall virkedager per år	240 virkedøgn	[1]
Egenvekt lastbærer per TEU	2 tonn	Antakelse
Egenvekt semitrailer	7,2 tonn	[4]

Cargo Beamer antar bruk av semitrailere for å utnytte en hel togvogns kapasitet. Dermed brukes enheten LU (Loading Unit) som enhet for Cargo Beamer, og ikke den mer brukte TEU. En LU tilsvarer da altså en semitrailer på 20 tonn. Dermed vil det for konvensjonelle tog lastes 4 TEU per vogn, mens det for Cargo Beamer 1 LU per vogn. Fra formlene vist i selve rapporten kan man problemfritt bruke enheten LU i stedet for TEU. Resultatet vil uansett ende opp i tonn gods.

Utregning av kapasitet med ulike togsett

For visse kapasitetsscenario er allerede antall TEU per konvensjonelle tog angitt. I disse tilfellene er dermed tog lengde ikke en nødvendig inndataparameter. På en annen side brukes formel 5.1 fra rapporten til å regne ut tog lengden det gitte antall TEU tilsvarer.

$$\text{Tog lengde} = \frac{\text{Antall TEU pr tog}}{\text{Utnyttelsesgrad} * \text{TEU pr vogn}} * \text{vognlengde} + \text{lengde lokomotiv}$$

Kapasitetsscenario K0

Konvensjonell løsning: 12 avganger, 48 TEU, 9,5 tonn/TEU, 100% utnyttelsesgrad

Nyttelast per tog: 48*9,5 = 456 tonn/tog
Årlig godsmengde per tog: 456*240 = 109440 tonn/tog
Total årlig kapasitet: 109440*12 = 1313280 tonn

Tog lengde: (48/(1*4))*34+20 = 428 m

Kapasitetsscenario K1

Konvensjonell løsning: 12 avganger, 48 TEU, 9,5 tonn/TEU, 100% utnyttelsesgrad

Cargo Beamer løsning: 4 avganger, 24 LU=24 vogner, 20 tonn/LU, 100% utnyttelsesgrad

Konvensjonell
Årlig kapasitet = 1313280 tonn (som i K0)

Cargo Beamer løsning
Nyttelast per tog: 24*20 = 480 tonn/tog
Årlig godsmengde per tog: 480*240 = 115200 tonn/tog
Årlig kapasitet: 115200*4 = 460800 tonn/år

Tog lengde Cargo Beamer: (24/(1*1))*16,2+20 = 408,8 m

Total årlig kapasitet: 1313280 + 460800 = 1774080 tonn

Kapasitetsscenario K2

Konvensjonell løsning: 12 avganger, 600m tog lengde, 9,5 tonn/TEU, 100% utnyttelsesgrad

Antall TEU pr tog: (600-20)/(34/4) * 1 = 68 TEU (avrundet, 68 TEU tilsvarer egentlig 598m)
Nyttelast per tog: 68*9,5 = 646 tonn/tog
Årlig godsmengde per tog: 646*240 = 155040 tonn/tog
Total årlig kapasitet: 155040*12 = 1860480 tonn

Kapasitetsscenario K3

Konvensjonell løsning: 12 avganger, 600m tog lengde, 9,5 tonn/TEU, 100% utnyttelsesgrad

Cargo Beamer løsning: 4 avganger, 36 LU=36 vogner, 20 tonn/LU, 100% utnyttelsesgrad

Konvensjonell
Årlig kapasitet = 1860480 tonn (som i K2)

Cargo Beamer løsning
Nyttelast per tog: 36*20 = 720 tonn/tog
Årlig godsmengde per tog: 720*240 = 172800 tonn/tog
Årlig kapasitet: 172800*4 = 691200 tonn/år

Tog lengde Cargo Beamer (36/(1*1))*16,2+20 = 603,2 m

Total årlig kapasitet: 1860480 + 691200 = 2551680 tonn

Rådata til kapasitetsgrafer

Følgende tabeller viser rådataen til de ulike kapasitetsgrafene i resultatdelen. Grafene tegnes lineært mellom verdiene tabellene angir. Utregningene baseres på formlene for kapasitet (formel 5.1-5.4 i rapporten).

Tabell 4: Kapasitet i tonn per tog gitt tog lengde

Lengde [m]	Cargo Beamer	Konvensjonell 9,5 t/TEU	Konvensjonell 12 t/TEU
20	0	0	0
450	531	481	607
600	716	648	819

Tabell 5: Årlig kapasitet i tonn gitt antall daglige konvensjonelle togavganger

Tog per dag	428 m lengde, 9,5t/TEU	600 m lengde, 9,5t/TEU	428 m lengde, 12t/TEU	600 m lengde, 12t/TEU
0	0	0	0	0
12	1313280	1860480	1658880	2350080
20	2188800	3100800	2764800	3916800

Tabell 6: Årlig kapasitet i tonn der Cargo Beamer står for all vekst i daglige avganger. Dagens årlige kapasitet er gitt med 428 m konvensjonelle tog og er 1313280 tonn. Dermed blir de utregnede tallene i tabellen 1313280 + antall ekstra avganger med Cargo Beamer

Antall ekstra avganger med Cargo Beamer	Cargo Beamer med 12 vogner	Cargo Beamer med 24 vogner	Cargo Beamer med 36 vogner
0	1313280	1313280	1313280
4	1543680	1774080	2004480
10	1889280	2465280	3041280

Tabell 7: Årlig kapasitet i tonn der Cargo Beamer står for all vekst i daglige avganger. Dagens årlige kapasitet er gitt med 600 m konvensjonelle tog og er 1860480 tonn. Dermed blir de utregnede tallene i tabellen 1860480 + antall ekstra avganger med Cargo Beamer.

Antall ekstra avganger med Cargo Beamer	Cargo Beamer med 12 vogner	Cargo Beamer med 24 vogner	Cargo Beamer med 36 vogner
0	1860480	1860480	1860480
4	2090880	2321280	2551680
10	2436480	3012480	3588480

Etterhengt vekt

Basert på tall i tabell 1,2 og 3 kan potensiell etterhengt vekt regnes ut. Denne tar utgangspunkt i togsettets nyttelast (mengde gods per tog) og togsettets egenvekt, men ekskluderer lokomotivets vekt.

Utregning på etterhengt vekt blir følgende generelle formel, og kan brukes både for enhetene LU og TEU:

Etterhengt vekt =

$$\frac{\text{Antall TEU pr tog}}{\text{TEU pr vogn}} * \text{Vognvekt} + \text{Nyttelast pr tog} + \text{Antall TEU pr tog} * \text{Egenvekt lastbærer}$$

Tabell 8: Etterhengt vekt i tonn for ulike løsninger. Graf i selve rapporten er tegnet ved å trekke lineære linjer mellom verdiene. Etersom Cargo Beamer og konvensjonelle tog har ulikt oppsett, vises ikke etterhengt vekt for alle oppgitte lengder for begge løsningene samtidig.

Lengde [m]	Konvensjonell 9,5t/TEU	Konvensjonell 12t/TEU	Cargo Beamer 20t/LU
20	0	0	0
214,4			698,4
408,8			1396,8
428	972	1092	
600	1241	1411	
603,2			2095,2

For utregning av togets totalvekt legges vekten av lokomotivet til tallene i tabell 8.

Kilder

- (1) Nielsen, Kenneth (2017). *Standarder for kapasitetsplanlegging*. Dokumentnr. 201701227-1. Jernbanedirektoratet. Side 144 og 221
- (2) Data fra EZ_freight. Et nytteberegningsprogram fra Jernbanedirektoratet
- (3) Mailkorrespondanse med Kay Franzen, Terminalsjef i CargoNet i region Nord.
- (4) Klemenčić, Mitja og Robert Burg (2018). *Data base and comparative analysis of CT and transshipment technologies for CT*. Deliverable D.T.1.2.1. Interreg Alpine Space.

G Modellering av godsmengdescenarier i NGM

Dette vedlegget skal vise hvordan de ulike godsmengdescenariene G0, G1, G2 og G3 har blitt modellert i NGM, samt hvordan godsmengdene har blitt funnet.

Modellering av scenariene G0, G1, G2 og G3

For 2018 vil utdataen være det samme i alle godsmengdescenarier, ettersom dette året allerede har vært, og det ikke kan modelleres noe nytt her. For 2018 settes drivstoffprisen lik 14,86 i både G0, G1, G2 og G3. Dermed vises kun hvordan basisscenarioet for 2018 ble funnet under fremgangsmåten for «Basisscenario G0». De andre fremgangsmåtene viser kun for 2030 og 2050. Det må lages ett nytt scenario i NGM for hvert årstall.

Basisscenario G0

I dette scenariet forblir all inndata lik for 2018, 2030 og 2050. Eneste forandring mellom årene blir den generelle godstransportveksten. Ettersom NGM har 12,00 kr på drivstoffpris som default-verdi, vil denne imidlertid endres for basisscenarioet.

1. Starte nytt scenario for 2018
2. Åpne kostnadsmodellen
3. Gå til fanen «Nøkkelparametere» og sett rute C5 til 14,86 kr (pris basert på historiske drivstoffpriser)
4. Gå til fanen «Input detalj-parametere» og sett rute C10 til 14,86 kr. I rute E10 kan man trekke fra avgift for drivstoff (kanskje dieseltog går på avgiftsfri diesel). E10 settes til 5,08 kr som er vegbruksavgift og CO₂-avgift. Det virker ikke som moms av disse avgiftene er trukket fra i kostnadsmodellen generelt sett, derfor gjøres det ikke her heller.
5. Kjører kostnadsmodellen
6. Modellerer scenariet.
7. Gjører tilsvarende for eget scenario i 2030 og i 2050

Scenario G1

1. Samme fremgangsmåte som for basisscenario G0. Men for 2030 og 2050 settes rute C5 under fanen «Nøkkelparametere» til 19,89 kr. Avgiftene som trekkes fra blir i stedet 9,1 kr, noe som tilsvarer CO₂-avgift på 5,35 kr og vegbruksavgift på 3,75 kr, som er avgiftssatsene benyttet for å regne ut drivstoffprisen på 19,89 kr.

Scenario G2

Dette scenariet krever endringer i nettverket. Underveis i fremgangsmåten er det tabeller som viser hvilke lenker som fikk endringer, og til hvilken verdi de ble endret. Det er ikke beskrevet i detalj hvordan endringen gjøres, men dette kan man tydeligere lese i NGMs dokumentasjonsrapport (TØI-rapport 1429/2015).

1. Start nytt scenario for 2030, og sett drivstoffpris til 14,86 kr, som forklart under basisscenario G0
2. Åpne basisnettverk for å gjøre endringer i lengde og hastighet på E6. Disse endringene gjøres i henhold til planlagt motorveg på E6. Tabell 1 viser for hvilke lenker man skal gjøre endringene. Lenkene er angitt ved å sette nummer på de to nodene de er tilknyttet. Numrene leses av fra feltene A og B i lenkens metadata. Lengde er allerede angitt i basisnettverket, og denne skal endres med den prosenten angitt i tabell 1, mens effekt fart settes til 70 km/t. Effekt fart er den hastigheten NGM leser. Er effekt fart satt til 0, vil NGM ta utgangspunkt i fartsgrensen på stedet. Det er valgt 70 km/t som snitt fart på tross av at det er motorveg. Dette fordi det ventes lengre stigninger på vegen, og snittfarten er anbefalt av person med kompetanse innenfor tungtrafikk.

Tabell 1: Hvilke lenker som skal få snitthastighet på 70 km/t og hvilken lengdeendring lenkene skal ha.

Strekning	Prosentvis lengdeendring	Endring gjelder på alle lenker fra nodenummer:	...til nodenummer:
Melhus-Kvål	0	80095	80111
Kvål-Gyllan	-5,6%	80072	80095
Koroporalsbrua-Gyllan	+6,7%	80050	80072
E6 Soknedal	-13,3%	80041	80050
Ulsberg-Vindåsliene	-10,7%	80002	80041

3. Bompenger må også angis, og dette kan ikke gjøres direkte i basisnettverket slik som hastighetsendring og lengdeendring. Her endres heller egne bompengefiler, og da må man vite lenkens AHNR og BHNH. Disse kan leses av metadata på aktuell lenke, slik at det her kun vises for hvilke lenker bompengene endres for. Det er også noen sideveger som får bompenger, slik at

innføringen av bompengene ikke fører til at godsstrømmene velger alternative ruter til E6. Bompengene vises i tabell 2, og legges inn i NGM som avrundede verdier til nærmeste heltall.

Tabell 2: Hvilke lenker som får bompenger i 2030, og hvilken bompengesats som legges inn

Vegsnitt	Bompengesats [2016-kr]	Lenke	Eventuelle sideveger
Melhus-Kvål	64,8	80107-80108	83331-83332
Kvål-Gyllan	84,5	80080-80081	83261-83262
Koroporalsbrua-Gyllan	84,5	80070-80071	
E6 Soknedal	78,5	80043-80044	
Ulsberg-Vindåsliene	53	80023-80024	
Ulsberg-Vindåsliene	53	80008-80009	

4. Modellen kan nå kjøres, ettersom motorveg og bompenger nå har blitt lagt inn.
5. Gjør punkt 1 og 2 også for 2050. I dette året er det ikke lenger planlagt bompenger, slik at punkt 4 og 5 ikke trengs å bli gjort.

Scenario G3

Dette scenariet er en kombinasjon av scenario G1 og G2.

1. Følg fremgangsmåte for scenario G1, hvor drivstoffprisen settes til 19,89 kr i 2030 og 2050. Ikke kjøp modellen enda.
2. Følg fremgangsmåte for scenario G2, hvor 2030 får oppdatert nettverk og bompenger, og 2050 kun får oppdatert nettverk.
3. Kjør modellen.

Finne godsmengder på veg og bane for de ulike scenariene

Den enkleste måten å finne godsmengdene på veg og bane er å se på et resultatkart i CUBE etter modellkjøringen. Dette kartet ligger under «Nettutlegging» og viser nettfordelingen av transportmidler. Dermed får man ut mengden gods fordelt på transportmiddel, og ikke fordelt på varegruppe. Da er det enklere å direkte se godsmengdene. Godsmengdene på Dovrebanen og på de ønskede vegstrekningene ble funnet på lenkene vist i tabell 3. Lenkene er vist ved å oppgi deres to tilknyttede sonenumre (samme som for tabell 1 og 2).

Tabell 3: Ved hvilke lenker godsmengdene ble funnet

Strekning	Lenke
Dovrebanen	2402-2430
E6 mellom Støren og Berkåk	80030-80031
E6 mellom Berkåk og Ulsberg	80008-80009
Rv 3 ved Kvikve	18567-18568

Grunnen til at akkurat oppgitt lenke for Dovrebanen ble brukt, er at det med stor sannsynlighet kun vises gods som reiser strekningen Oslo-Trondheim-Bodø ved denne lenken, og det er dette godset som skulle undersøkes.

Finne godstransportarbeid på veg og bane for de ulike scenariene

NGM skriver tekstfiler over godstransportarbeidet fordelt på en grov inndeling av transportmiddel og varegrupper. Disse kan i tillegg hentes ut fylkesvis. Godstransportarbeid på veg er hentet for Sør-Trøndelag, og ved å summere arbeidet fra modulvogntog og lastebil for alle varegrupper. Det er modulvogntog og lastebil som er de to vegfarende kjøretøyene som oppgis, og disse to kategoriene inkluderer da mengdene til alle vegfarende kjøretøy i NGM ved avlesing i CUBE. For tog gjøres det samme, men her må data for dieseltog og elektriske tog i Sør-Trøndelag summeres. Tabell 4 viser godstransportarbeidet for veg og bane i Sør-Trøndelag

Tabell 4: Godstransportarbeid for veg og bane i millioner tonnkilometer for ulike år og scenarier

Scenario	Bane			Veg		
	2018	2030	2050	2018	2030	2050
G0	253	322	421	978	1206	1612
G1	253	400	528	978	1125	1500
G2	253	344	405	978	1149	1609
G3	253	424	519	978	1083	1489

Finne godsmengder behandlet på Brattøra og Heggstadmoen

I NGM er disse to terminalene slått sammen. Dermed hentes dataen ut fra én terminal.

Som utdata produserer NGM blant annet en fil som heter *Chainchoi*. Denne viser godsmengder og deres valgte transportmetode. Ved å hente ut *Chainchoi*-filene for de ulike scenariene og årstallene, og eksportere filene til xlsx-format (Excel), kan ytterligere analyse gjøres.

For hvert årstall og scenario hentes det ut godsmengder som har «loading», «unloading», og «reloading» i terminalnummer 7006 (Trondheim1, som er Brattøra/Heggstadmoens sone). Dette tilsvarer i dette tilfellet tømning og fylling av lastbærer, omlasting mellom veg og bane, samt omlasting av lastbærer mellom Nordlandsbanen og Dovrebanen. De ulike godsmengdene summeres, og dette skal være godsmengdene forventet behandlet ved terminalene. Hver *Chainchoi*-fil er på over 100 Mb, og dermed tung å kjøre. Dermed vises kun resultatet av analysen av filene i tabell 5. Godsmengdene er oppgitt i tonn, men ettersom man ofte måler terminalkapasitet i TEU, deles godsmengdene funnet fra *Chainchoi*-filene på 9,5. I tillegg vises det i tabell 6 godsmengder på eksisterende terminaler gitt at «reloading» ikke inkluderes terminalkapasiteten, ettersom det ble funnet større avvik mellom tallene for 2018 i tabell 5 og faktisk godsmengde på terminalene.

Tabell 5: Godsmengder i TEU på eksisterende terminaler i Trondheim

Scenario	2018	2030	2050
G0	152000	193000	254000
G1	152000	244000	324000
G2	152000	211000	243000
G3	152000	263000	318000

Tabell 6: Godsmengder i TEU på eksisterende terminaler i Trondheim hvor «reloading» er ekskludert

Scenario	2018	2030	2050
G0	109000	137000	177000
G1	109000	179000	235000
G2	109000	155000	167000
G3	109000	197000	230000

H Utregning av GTK for regneeksempel

Utregningen av GTK for en transport mellom Frøya og Oslo er basert på ulike data som kan finnes i NGM. Videre er denne dataen brukt for å gjøre manuelle beregninger. Reisedataen er hentet fra år 2018, og det er ikke gjort noen endringer i inndataen til NGM. Dermed brukes default-verdier til utregningen.

Det første som må finnes er strekning, reisetid og bompenger. Dette finnes fra egne *ChainsXX.dat*-filer som NGM produserer. Det er disse filene som angir ulike reisemåter med sine ulike priser, hvor det til slutt velges hvilken reisemåte som er billigst. For strekningen Oslo-Støren på tog finnes ikke data i NGM. Da er data fra Oslo-Trondheim brukt, og ved hjelp av ruteterminen R21 trekkes strekningen Støren-Trondheim fra. Tidsbruk på tog er regnet ut fra NGMs antakelse om hastighet på 65 km/t for godstog. Tabell 1 viser funnene. Merk at alle transportrutene går via Klett, og ikke via Fv700 grunnet begrensinger i NGM. I tillegg er det et tall bak terminalene i Oslo og Trondheim. Dette fordi begge byene er delt opp i flere soner

Tabell 1: Viser distanser, reisetider og bompenger for ulike strekninger og kjøretøy

Kjøretøy	Strekning	Tid [t]	Distanse [km]	Bompenger [kr]
Lastebil (2-1)	Frøya-Trondheim1	4,74	157,1	545
Lastebil (2-1)	Frøya-Støren	4,93	180,3	451
Lastebil (2-1)	Frøya-Oslo6	11,1	614,9	785
Tog (7-1)	Trondheim1-Oslo6	8,26	533,8	---
Tog (7-1)	Støren-Oslo6	7,46	481,8	---

Det er transportmidlene 2-1 og 7-1 som er valgt. Vanligvis brukes 2-1 ved direkte vegtransport, mens 2-2 brukes for vegtransport som del av en intermodal kjede. For å ha likt sammenlikningsgrunnlag på prisene for vegtransport brukes 2-1 også når den er del av en intermodal transportkjede.

Distansekostnader, tidskostnader, omlastingskostnader og varens tidsverdi er funnet fra de ulike tabellene for kostnader vist i kapittel 3 i rapporten. Her ligger dessuten formlene som utregningen av GTK tar utgangspunkt i.

Tabell 2: Transportmiddelavhengige kostnader vesentlige for utregningen av GTK

Kostnad	Lastebil (2-1)	Tog (7-1)
Lasting/lossing per vekt [kr/tonn]	118	189
Lasting/lossing per forsendelse [kr]	140	31
Tidskostnad [kr/time]	456 (pr lastebil)	259 (pr vogn)
Distansekostnad [kr/km]	6,97 (pr lastebil)	2,39 (pr vogn)

Omlastningskostnad per tonn inkl tidskostnad:

(2-1)→(7-1) 57kr
(7-1)→(2-1) 57kr

Omlastingskostnad per forsendelse. Denne regnes utfra summen av laste/losse-kostnadene per forsendelse fra begge transportmidlene involvert omlastingen.

(2-1)→(7-1) 171kr
(7-1)→(2-1) 171kr

Det antas 20 tonn transportert gods, og at dette tilsvarer en full semitrailer. Dermed kan kostnadene for (2-1) brukes direkte. På tog derimot, gis kostnaden per vogn. Gitt at en vogn rommer 4 TEU, og at 1 TEU tilsvarer 9,5 tonn nyttelast, vil en vogn romme $4 \cdot 9,5 = 38$ tonn gods. Dermed deles kostnadene for (7-1) på 38 for å få pris per tonn. Det antas at godset det regnes på utgjør 20 av de 38 tonnene på en vogn. Tabell 3 angir tonnspecifikke kostnader for tog.

Tabell 3: Tonnspecifikke kostnader for tog

Kjøretøy	Tidskostnad	Distansekostnad
7-1 (per tonn)	6,82 kr	0,063 kr
7-1 (for 20 tonn gods)	$6,82 \cdot 20 = 136$ kr	1,26 kr

Det ses bort fra kostnader for lagerhold og bestilling. Videre vil ikke de kjøretøyavhengige tidskostnadene løpe når omlasting skjer, grunnet omlastingskostnaden inkluderer tidskostnad.

Tidsverdi for varen er angitt som 97,7 kr per tonntime for fersk fisk, og 14,8 kr per tonntime for matvarer. Mer om disse verdiene i kapittel 3 i selve rapporten.

Utregning av GTK for de ulike transportalternativene

Utregningene skal til slutt skrives som GTK som funksjon av avstand.

Alternativ A

Lasting av semitrailer på Frøya. Reise direkte med semitrailer (2-1) fra Frøya til Alnabru. Lossing av semitrailer på Alnabru. Antar 1 time til lasting og lossing.

Spesifikk formel for GTK for alternativ A blir:

$$\begin{aligned} & \text{Lastekostnader per tonn} * 20 + \text{lastekostnader per forsendelse} + \text{Distansekostnader} * \text{Distanse} \\ & + \text{Tidskostnader} * \text{Reisetid} + \text{Lossekostnader per tonn} * 20 \\ & + \text{Lossekostnader per forsendelse} + \text{Varens Tidsverdi} * \text{Total tidsbruk} \\ & + \text{bompenger} \end{aligned}$$

Regner først uten varens tidsverdi:

$$118 * 20 + 140 + 6,97 * 614,9 + 456 * 11,1 + 118 * 20 + 140 + 785 = 15132kr$$

Total tidsbruk blir $1+11,1+1=13,1$ timer. GTK inkl varens tidsverdi bli da:

$$15132 + 13,1 * \text{tidsverdi} * 20$$

GTK med fersk fisk: 40730 kr

GTK med matvarer 19010 kr

Tabell 4 viser hvordan GTK utvikler seg gjennom reisen. Denne regnes ut på likt vis som ovenfor, men inkluderer kun de delene av formelen som er aktuell med tanke på distanse og tid. Videre er det to ganger vist distanse på 0 og 614,9 km som gjenspeiler at det tar en time å laste/losse semitrailer.

Tabell 4: Kumulativ utvikling av GTK til alternativ A. Brukes for tegning av graf som viser utvikling i GTK

Distanse [km]	Tid [t]	GTK uten varens tidsverdi	GTK med fersk fisk	GTK med matvarer
0	0	0	0	0
0	1	2500	4454	2796
614,9	12,1	12632	36276	16214
614,9	13,1	15132	40730	19010

Alternativ B

Lasting av semitrailer på Frøya. Reise med semitrailer (2-1) fra Frøya til eksisterende godsterminal i Trondheim. Omlasting fra veg til bane i Trondheim og togtransport videre til Alnabru. Lossing av lastbærer på Alnabru.

Antar konvensjonell omlasting (derav kostnadene angitt i NGM). 1 time til lasting, 1 time til omlasting, 1 time til lossing.

Spesifikk formel for GTK for alternativ B blir:

$$\begin{aligned} & \text{Lastekostnader per tonn} * 20 + \text{Lastekostnader per forsendelse} + \text{Distansekostnader}_{\text{etappe1}} \\ & * \text{Distanse}_{\text{etappe1}} + \text{Tidskostnader}_{\text{etappe1}} * \text{Reisetid}_{\text{etappe1}} \\ & + \text{Omlastingskostnader per tonn} * 20 + \text{Omlastingskostnader per forsendelse} \\ & + \text{Distansekostnader}_{\text{etappe2}} * \text{Distanse}_{\text{etappe2}} + \text{Tidskostnader}_{\text{etappe2}} * \text{Reisetid}_{\text{etappe2}} \\ & + \text{Lossekostnader per tonn} * 20 + \text{Lossekostnader per forsendelse} \\ & + \text{Varens tidsverdi} * \text{Total tidsbruk} + \text{bompenger} \end{aligned}$$

GTK uten varens tidsverdi:

$$118 * 20 + 140 + 6,97 * 157,1 + 456 * 4,74 + 57 * 20 + 171 + 1,26 * 533,8 + 136 * 8,26 + 189 * 20 + 31 + 545 = 13221kr$$

Merk at det er andre lossekostnader enn lastekostnader ettersom varen lastes på lastebil, men losses fra tog.

Total tidsbruk er $1+4,74+1+8,26+1=16$ timer

$$\text{GTK inkl varens tidsverdi} = 13221 + 16 * \text{tidsverdi} * 20$$

GTK med fersk fisk: 44485 kr
 GTK med matvarer: 17957 kr

Tabell 5: Kumulativ utvikling av GTK til alternativ B. Brukes for tegning av graf som viser utvikling i GTK

Distanse [km]	Tid [t]	GTK uten varens tidsverdi	GTK med fersk fisk	GTK med matvarer
0	0	0	0	0
0	1	2500	4454	2796
157,1	5,74	6301	17517	8000
157,1	6,74	7612	20782	9607
690,9	15	9410	38720	13850
690,9	16	13221	44485	17957

Alternativ C

Lasting av semitrailer på Frøya. Den kjører så til Støren, hvor den omlastes ved hjelp av Cargo Beamer-løsningen fra veg til bane. Så togtransport til Alnabru, og lossing av lastbærer her. Pris for lasting og lossing settes lik som i de andre eksemplene. Pris og tid for omlasting settes imidlertid til tilsvarende som for Cargo Beamer. Det blir da 1 time til lasting, 0,25 timer til omlasting og 1 time til lossing. I tillegg blir prisen for omlasting av 20 tonn gods 75 € = 750 kr. Antar like fremføringskostnader for Cargo Beamer som for konvensjonelle tog.

Spesifikk formel blir som for alternativ B

GTK uten varens tidsverdi:

$$118 * 20 + 140 + 6,97 * 180,3 + 456 * 4,93 + 750 + 1,26 * 481,8 + 136 * 7,46 + 189 * 20 + 31 + 451 = 12640 \text{ kr}$$

Total tidsbruk er $1+4,93+0,25+7,46+1=14,64$ timer

$$GTK \text{ inkl varens tidsverdi} = 12640 + 14,64 * \text{Tidsverdi} * 20$$

GTK med fersk fisk: 41246 kr
 GTK med matvarer: 16973 kr

Tabell 6: Kumulativ utvikling av GTK til alternativ C. Brukes for tegning av graf som viser utvikling i GTK

Distanse [km]	Tid [t]	GTK uten varens tidsverdi	GTK med fersk fisk	GTK med matvarer
0	0	0	0	0
0	1	2500	4454	2796
180,3	5,93	6456	18043	8211
180,3	6,18	7206	19281	9035
662,1	13,64	8829	35481	12866
662,1	14,64	12640	41246	16973

I Utregning av CO₂-utslipp for endrede godsmengder

Når det gjelder CO₂-utslipp, er det i kapittel 4 i rapporten vist at CO₂-utslippet til tog- og vegtransport av gods kan relateres til godstransportarbeidet. Utregningen tar dermed utgangspunkt i hvor mye endring i CO₂-utslipp man får dersom scenario G1, G2 eller G3 blir reelt sammenliknet med basisscenariet G0. Ideen er å summere endringen i utslipp for endrede godsmengder på bane og veg.

Basert på godstransportarbeidet, og CO₂-utslipp for de respektive scenariene i år 2018, 2030 og 2050, viser tabell 1 hvor mye CO₂-utslipp godstransportarbeidet produserer for veg og bane. Dette regnes ut ved å multiplisere godstransportarbeidet med utslippsfaktorene fra kapittel 4 i de respektive årene. Tallene gjelder for Sør-Trøndelag.

Tabell 1: CO₂-utslipp fra veg- og banetransport i tonn CO₂ basert på godstransportarbeidet i Sør-Trøndelag

Scenario	Vegtransport			Togtransport		
	2018	2030	2050	2018	2030	2050
G0	118278	145959	195083	2377	2444	2445
G1	118278	136082	181531	2377	3039	3062
G2	118278	139031	194676	2377	2611	2348
G3	118278	131083	180131	2377	3220	3008

Vil som sagt se på endringen i forhold til G0. Derfor regnes det for 2030 og 2050 både på veg og bane verdien for G1 – G0, G2 – G0 og G3 – G0. For eksempel for scenario G1 i 2030 på veg, vil dette da bli 136082 – 145959 = -9877. Resultatet vises i tabell 2.

Tabell 2: Endret CO₂-utslipp i tonn CO₂ ved at godsmengdescenario G1, G2 eller G3 blir aktuell fremfor G0

Scenario	Vegtransport		Togtransport	
	2030	2050	2030	2050
G1 – G0	-9877	-13552	595	617
G2 – G0	-6928	-406	167	-96
G3 – G0	-14875	-14952	776	564

Interessant å merke seg er for scenario G2 – G0 i 2050 hvor vegtransporten har negativ endring i CO₂-utslipp til tross for mindre togtransport. Dette er fordi godstransportarbeidet på veg går ned på tross av økte godsmengder på veg fordi motorvegen vil gi en kortere vegstrekning.

Til slutt summeres verdiene fra vegtransport og togtransport i tabell 2, og man vil få se endring i CO₂-utslipp gitt at enten scenario G1, G2 eller G3 blir aktuelt fremfor scenario G0. Resultatet vises i tabell 3.

Tabell 3: Endring i CO₂-utslipp i tonn CO₂ samlet for veg og bane i Sør-Trøndelag, gitt de ulike scenarioene for godsmengder.

Scenario	2030	2050
G0	0	0
G1	-9282	-12935
G2	-6761	-503
G3	-14100	-14388

J Felles sammendrag for begge masteroppgavene med samme tema

Det er utarbeidet et felles sammendrag mellom denne masteroppgaven og den andre masteroppgaven som skrives parallelt innenfor samme tema. På de følgende sidene presenteres dette sammendraget.

Sammendrag

Våren 2021 har tre masterstudenter ved NTNU skrevet to masteroppgaver i samarbeid med *Trøndelag Sør-Interkommunalt politisk råd*. Oppgavene handler om overføring av gods fra veg til bane ved bruk av mindre omlastingsterminaler. Masteroppgaven "Plassering av omlastingsterminal i region Trøndelag Sør" er skrevet av Nathalie Borø og Julie Hjortland, og masteroppgaven "Forutsetninger for og virkninger av en lokal omlastingsterminal" er skrevet av Jon Lofthus Aarsand. Dette er et sammendrag av begge oppgavene. Oppgavene bør leses i sin helhet for en dypere forståelse omkring tematikken og for grundigere forklaring av resultatene. Begge masteroppgavene er basert på problemstillingen gitt av Rådet: "*Optimale plasseringer av omlastingsterminaler for gods fra vei til jernbane i Region Trøndelag Sør*", men har utviklet seg i to ulike retninger. Den ene fokuserer på plassering av omlastingsterminal, og den andre fokuserer på effekten av en omlastingsterminal i regionen.

Bakgrunnen for disse oppgavene er at det har vært en jevn vekst i godstransport på veg i Norge de siste årene. Nasjonal transportplan 2018-2029 forespeiler nær en dobling i godstransport på veg frem mot 2050. Dette kan bidra med økte eksterne kostnader fra tungtransport på veg i form av forsinkelser, ulykker, støy, slitasje på vegen, klimagassutslipp og lokal forurensing. Det er et politisk mål i Norge å dempe denne veksten i godsmengde på veg ved økt bruk av sjø- og banetransport. Regjeringen har en ambisjon om at 30 % av godstransport på veg som fraktes over 300 km skal overføres til jernbane og skip innen 2030. Disse oppgavene har fokusert på overføring til bane som del av en intermodal transportkjede. For å få til en slik overføring kreves mer effektive og økonomiske løsninger for godshåndtering på jernbaneterminaler. Dagens terminalstruktur baserer seg på få og store terminaler som gjør at det blir mangel på omlastingsterminaler i nærheten av godstransportens start- og/eller slutt punkt. I tillegg er de eksisterende terminalene ineffektive grunnet liten grad av automatisering og tidkrevende omlastingsmetoder. En konsekvens av dette er at jernbanens konkurransevne ofte taper mot veg, slik at vegtransport ofte er det foretrukne transportmiddelet. Som et virkemiddel i å overføre mer gods fra veg til bane, ser disse oppgavene på muligheten for å etablere en mindre omlastingsterminal i region Trøndelag Sør, og på hvilken effekt en omlastingsterminal i regionen vil ha. Med mindre omlastingsterminal menes her en småskala og enkel terminal der godsmengdene som lastes om er forholdsvis små og flyttes direkte mellom vegtransport og bane uten mellomlagring. Små terminaler kan sørge for at godset raskt kan omlastes mellom veg og bane, krever mindre arealbeslag, samt lave kostnader for utbygging. Slike terminaler er per i dag ikke en del av terminalstrukturen i Norge.

Det er benyttet flere metoder for å komme frem til resultatene i oppgavene. Den Nasjonale godstransportmodellen ble benyttet til en godsstrømsanalyse. Det innledende arbeidet med denne modellen ble gjort som et samarbeid mellom de tre studentene for å få et størst mulig utbytte av arbeidet og for å lære av hverandre. Videre er modellen brukt til forskjellige resultater i de to oppgavene. Andre metoder som er brukt i begge oppgavene er litteraturstudie, kapasitetsberegninger og kontakt med næringslivet. I tillegg er det gjennomført en GIS-analyse i oppgaven som omhandler plassering av omlastingsterminal.

Videre følger en oppsummering av resultatene og funnene i de to ulike oppgavene. Først presenteres problemstilling og resultat for effekten av en terminal i regionen generelt, deretter plassering og utforming.

Forutsetninger for og virkninger av en lokal omlastingsterminal

Denne masteroppgaven tar for seg hvilke fordeler en lokalt plassert omlastingsterminal vil ha, samt hvilke forutsetninger som kreves for at transportaktører vil bruke løsningen. I tillegg gjøres relevante godsstrømsanalyser som kan si noe om i hvor stor grad omlastingsterminalen kan brukes.

Det er modellert fire scenarier G0, G1, G2 og G3 i Nasjonal godstransportmodell for fremtidige godsmengder på veg og bane. Disse er modellert uavhengig om det vil bygges en ny omlastingsterminal eller ikke, men baseres på mulig planlagte tiltak i vegsektoren. Det er til dels ikke mulig å modellere tiltak på jernbanesektoren, ettersom vesentlige moduler for dette ikke er operative i Nasjonal godstransportmodell. Formålet med modelleringen er å få en pekepinn på hvilke godsmengder man må ta hensyn til i fremtiden, både på veg- og banesiden, samt hvordan de ulike tiltakene vil påvirke konkurransesituasjonen mellom veg og bane. Utgangspunktet for modelleringen er et basisscenario, hvor man antar at det ikke vil være noen endringer på veg frem til 2050. Da er det kun den generelle godstransportveksten som vil gi endring mellom årene 2018, 2030 og 2050.

Scenariene som er modellert er: G0, som er basisscenariet. G1, som er at at drivstoffprisen for tunge kjøretøy på veg går opp til 19,89 kr i henhold til en forespeilet økt CO2-avgift innen 2030. G2, som er at det bygges ny motorveg på E6 mellom Melhus og Ulsberg med tilhørende bompenger. G3, som kombinerer den økte drivstoffprisen og ny motorveg. I hovedsak vil de ulike tiltakene føre til mer transport på bane sammenliknet med basisscenariet, selv med ny motorveg. Dette er fordi det er ventet bompenger pålydende 426 kr (i 2017-kr) på den nye motorvegen. I 2050, når bompengeneinnkrevingen er over, vil imidlertid veg få økt konkurranseevne sammenliknet med basisscenariet. Den økningen er imidlertid svært lav, noe som kan forklares med at forventede stigninger på den nye motorvegen nødvendigvis ikke får opp snittfarten nevneverdig, og dermed redusert tidsbruk til tunge kjøretøy. Økt drivstoffavgift på veg gir togtransport en såpass styrket konkurranseevne, at i scenario G3 vil motorveg uten bompenger i 2050 allikevel gi togtransport større konkurranseevne enn basisscenariet. Tabell 1 viser godsmengdene på Dovrebanen gitt de ulike scenariene. I hovedsak virker det som de fleste tiltak som er modellert vil sørge for økt togtransport.

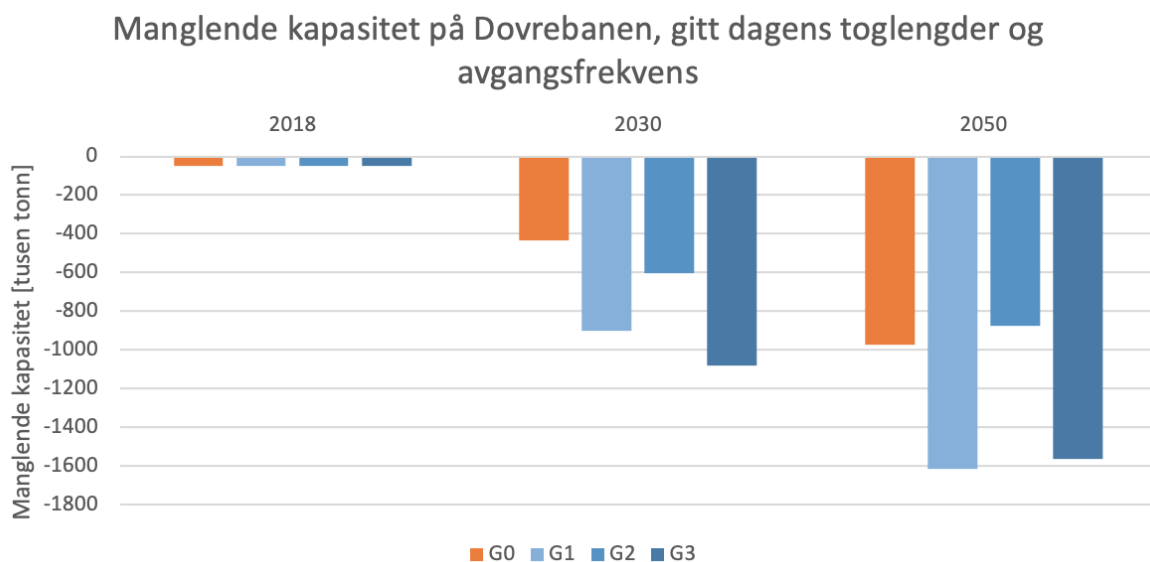
Tabell 1: Godsmengder i tusen tonn per år på Dovrebanen gitt ulike kapasitetsscenarioer

Scenario	2018	2030	2050
G0	1364	1747	2288
G1	1364	2217	2931
G2	1364	1918	2191
G3	1364	2393	2880

I Nasjonal godstransportmodell er det mulig å legge inn nye terminaler og kostnader knyttet til omlasting. Dermed ble det modellert nye terminaler på Støren og Berkåk, med kostnadene tilsvarende bruk av horisontal omlasting. Horisontal omlasting er omlasting uten

at man må løfte lastbæreren slik at omlasting skal kunne skje raskere og gjerne mer automatisert. Målet var å se hvor mye gods som kan overføres fra veg til Dovrebanen, og hvilke reduksjoner dette kunne gi i vegtransport spesielt på Rv3 og E6. Det ble imidlertid ingen overføring i følge denne modelleringen, og en mulig grunn til dette var at det kun var ved én av terminalene på transportetappen på bane at man fikk reduserte omlastingskostnader. Det vil si at den andre omlastingsterminalen togtransporten stoppet ved fremdeles hadde omlastingskostnader tilsvarende dagens konvensjonelle terminaler.

Ettersom det ikke var mulig å se på overføring ved de nye terminalene, ble det derfor regnet på et godsoverføringspotensiale for Dovrebanen. Dette er gods som potensielt sett kan lastes om fra veg til bane, gitt at det er nok kapasitet, og vil være en direkte bidragsyter til demping av vekst i tungtrafikk på veg. I tillegg kan man si at dette godset gjerne kan overføres ved ny terminal. Godsoverføringspotensialet ble regnet ut ved å se på differansen mellom tilgjengelig kapasitet på Dovrebanen og godsmengdene som allerede transporteres på Dovrebanen. Å finne tilgjengelig kapasitet består av mange jernbanetekniske faktorer, slik at kapasiteten ble regnet ut på et forenklet vis som tar utgangspunkt i de togene som trafikkerer Dovrebanen per i dag. Det ble regnet ut forskjellige tilgjengelige kapasiteter basert på ulike scenarioer om toglengde og frekvens. Hvis man tar utgangspunkt i at kapasitetsscenarioene er reelle, vil det i hovedsak ikke være tilgjengelig kapasitet på Dovrebanen til å håndtere dens forventede fremtidige godsmengder. Figur 1 viser hvor mye kapasitet som mangler for å håndtere fremtidige godsmengder på bane for godsmengdescenariene G0, G1, G2 og G3, gitt dagens toglengder og antall avganger. Får man tilrettelagt for enda mer kapasitet, og dermed ytterligere omlasting fra veg til bane, vil dette være positivt i form av at man da kan få reduserte mengder vegtransport i forhold de modellerte godsmengdene på veg.



Figur 1: Manglende kapasitet på Dovrebanen for godsmengdescenariene G0, G1, G2 og G3.

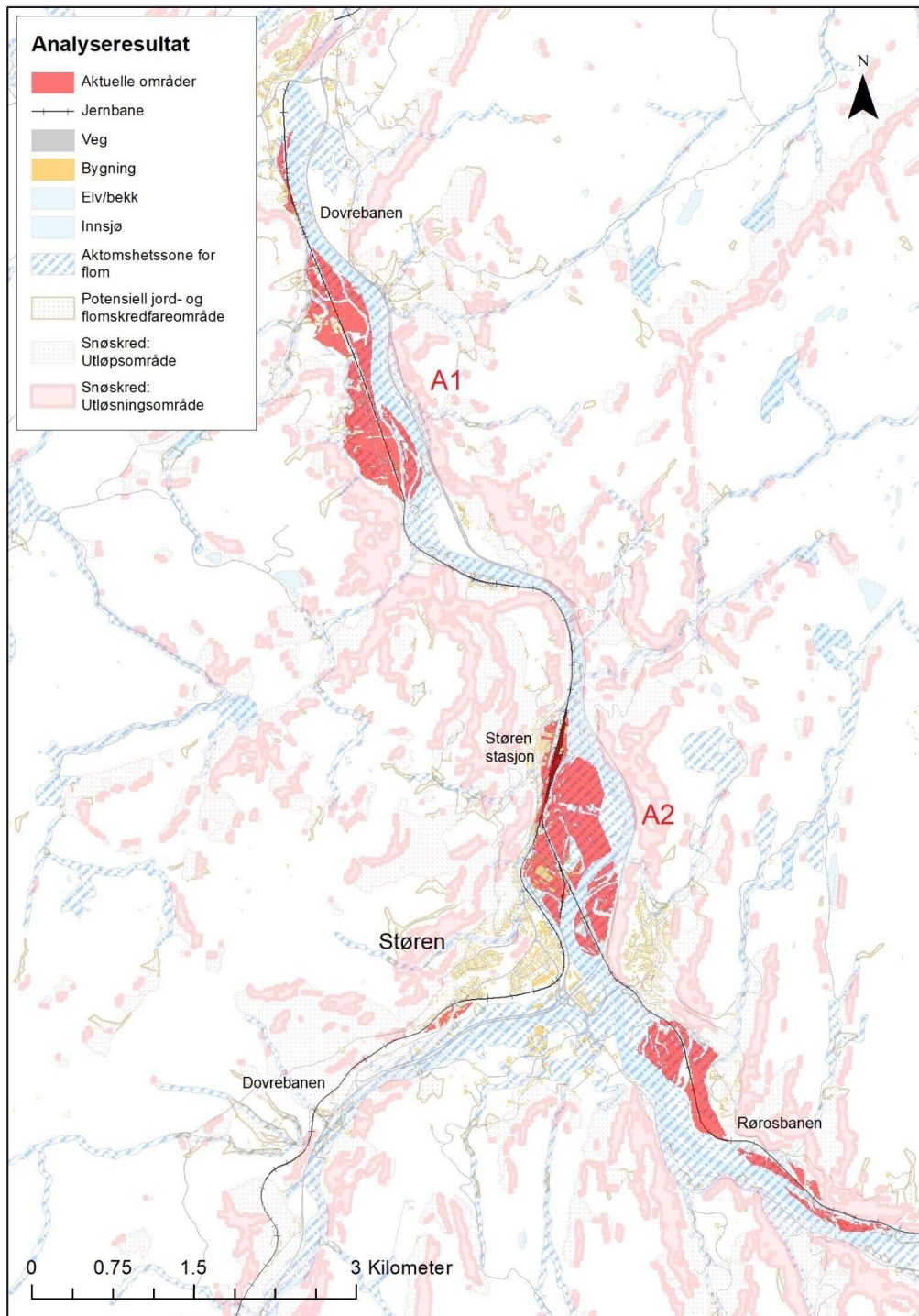
En del forutsetninger må oppfylles for at en ny omlastingsterminal skal være aktuell å bruke. For det første må den være effektiv, som kan gjøres ved hjelp av horisontal omlasting og god samhandling mellom alle ledd i den intermodale transportkjeden. Det finnes ulike former for horisontal omlasting ettersom ulike løsninger kan behandle ulike typer lastbærere, samt at de krever spesielle togvogner, spesiell terminalstruktur eller begge deler. I tillegg må

det tilrettelegges for tilstrekkelig kapasitet på Dovrebanen slik at det kan bli overført mer gods mellom veg og bane i tillegg til det godset som allerede reiser mellom eksisterende terminaler i Oslo og Trondheim. Til slutt kreves god tilgjengelighet til den nye terminalen. Den planlagte motorvegen på E6 mellom Melhus og Ulsberg vil kunne bidra med økt tilgjengelighet.

Ved bygging av en ny omlastingsterminal plassert i distriktene vil man få fordeler som kan bedre bruken av intermodal transport. For det første avlastes infrastrukturen og eksisterende terminaler i Trondheim ved at godstransporten slipper å kjøre innom byen. Videre kan man få mer direkte transport, hvor gods fra distriktene slipper å reise innom Trondheim for omlasting fra veg til bane. I tillegg kan man enklere kunne etablere lokale godsruiter i distriktene som kjøres i samsvar med togavgangene og -ankomstene ved ny terminal. Lokale ruter vil kunne gi sjåførere med god kjennskap til vegene, som er bra for trafikksikkerheten. Dessuten kan godsrutene, som samlet sett bør kunne gi korte transportetapper på veg, være tilgjengelig for uttesting av nullutslippskjøretøy. Gitt at det er tilstrekkelig kapasitet på Dovrebanen, vil en ny terminal også gi fordelene med mindre vegtransport, og dermed mindre av de eksterne kostnadene nevnt innledningsvis.

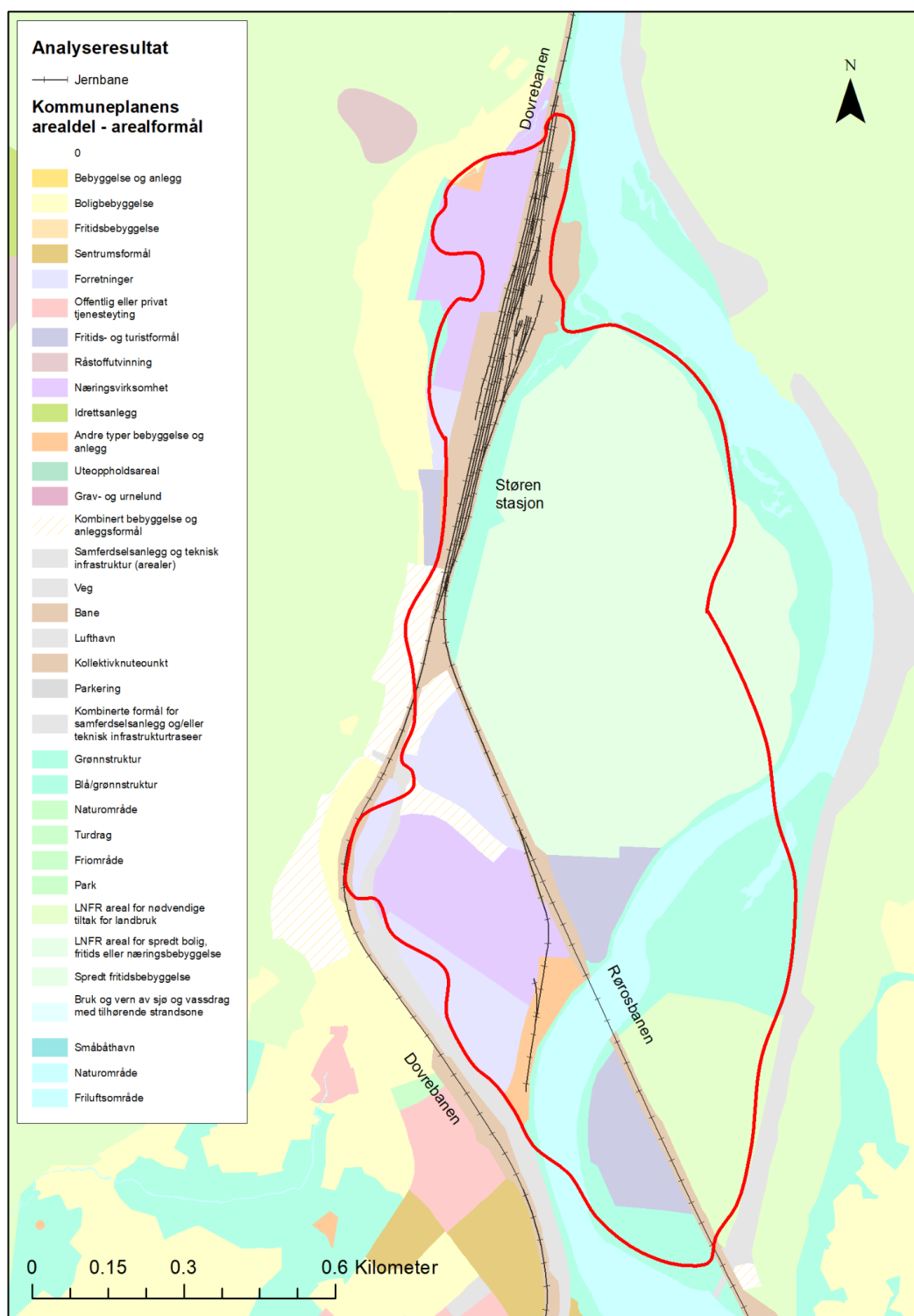
Hvor kan man plassere omlastingsterminaler langs Røros- og Dovrebanen i region Trøndelag Sør for å tilrettelegge for overføring av gods fra veg til jernbane?

Godsstrømsanalysen viser hvordan godset fordeler seg på de viktigste transportårene i regionen. I Figur 2 vises de ulike godsmengdene i 1000 tonn som fraktes på tog og bil, gitt godsverdiene som ligger inne i den Nasjonale godstransportmodellen for 2018. Der ser man at området mellom Støren og Oppdal er mest aktuelt for etablering av en omlastingsterminal, gitt godsmengder og knutepunkt. Rørosbanen har små godsmengder, og vurderes som uaktuell for plassering av en terminal.



Figur 3: Resultat fra analyse i ArcMap som viser aktuelle områder for en terminal i Støren-området. Egenprodusert figur.

For å videre vurdere hvilket av områdene innenfor Støren som vil gi en mest hensiktsmessig plassering, er eksisterende arealformål på de ulike stedene vurdert. A1 består i stor grad av LNFR-areal for nødvendige tiltak for landbruk og reindrift og gårdstilknyttet næringsvirksomhet basert på gårdens ressursgrunnlag, men også noe Bane. A2 ligger mer sentrumsnært og har flere arealformål. Eksisterende Støren stasjon ligger innenfor A2, der forholdsvis store arealer har arealformål Bane. Arealformålene innenfor aktuelt område for A2 vises i Figur 4.



Figur 4: Arealformålene for området A2, med rød linje rundt de aktuelle områdene for terminal. Egenprodusert figur

Det vurderes som et bedre alternativ å utnytte eksisterende infrastruktur med jernbanestasjon og beredskapsterminal i A2 enn å etablere en helt ny terminal på A1, slik at A2 velges over A1. En mulig utforming av terminalen vises i Figur 5. Her tas det utgangspunkt i en terminal som kan laste om 10 semitrailere med den horisontale omlastingsmetoden *Megaswing*. Som nevnt tidligere er horisontal omlasting ønskelig omlastingsmetode for en mindre omlastingsterminal, med en mer effektiv og økonomisk

løsning enn den vertikale omlastingen som brukes på dagens store terminaler. En slik omlasting bør i stor grad basere seg på automatiserte prosesser.



Figur 5: 3D-skisse av mulig terminalutforming. Egenprodusert skisse i Infracore.

Konklusjon og anbefalinger

De to oppgavene konkluderer med at en mindre omlastingsterminal langs Dovrebanen kan ha positive effekter for håndteringen av fremtidens godsmengder i regionen, og at Støren kan være en hensiktsmessig lokasjon. Jernbanene har kapasitetsutfordringer, der Dovrebanen per i dag har fullt utnyttet kapasitet og Rørosbanen ikke har nødvendig infrastruktur for å håndtere økt godsmengde. Dette vil gjøre en godsoverføring vanskelig dersom det ikke gjøres tiltak. For Dovrebanen vil økt kapasitet avhenge av ny rutefordeling mellom gods- og persontog, forlengede og økt antall kryssingsspor samt økt godstog lengde, eller økt fyllingsgrad på eksisterende tog. Rørosbanen har behov for en oppgradering av både kurvatur og signalsystem, samt elektrifiseres, for å bli levedyktig for godstransport. Kapasitetsberegninger på vegnettet konkluderer med at strekningene mellom tettsteder i stor grad vil takle den fremtidige trafikkøkningen, både i person- og godstrafikk. På en annen side vil det bli større trykk på allerede eksisterende flaskehals, særlig i tettsteder, kryss og på strekninger med dårlig vegstandard. Det viser at en økning i vegtransport ikke utelukkende vil være positiv. Disse resultatene viser til at siden godstransport på jernbane ikke tåler en økning i gods i noen særlig grad, vil vegtransportens suverenitet opprettholdes dersom det ikke gjøres tiltak på bane. Dette på tross av en forespeilet økning i vegtrafikk.

Det er knyttet usikkerheter til resultatene som gjør at videre utredninger må gjennomføres før man eventuelt kan gå videre. De ulike utredningene bør både gjøres for å se på muligheten for bedre kapasitet på jernbanen, lønnsomheten ved en terminal, mer dyptgående om naturfarer og type horisontal omlasting som skal velges. Det anbefales å gjennomføre et pilotprosjekt på aktuelt område ved Støren stasjon før en eventuell fullskala-implementering. Et slikt pilotprosjekt vil kunne ta utgangspunkt i masteroppgaven om plassering av terminal, uten at det vil kreve store utredninger.

