

Utbygging av godsterminaler for jernbane

Øyvind Teodor Lavoll

Master i Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2016

Hovedveileder: Elias Kassa, BAT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg, anlegg og transport



Oppgavens tittel: Utbygging av godsterminaler for jernbane – utfordringer ved trinnvis utbygging	Dato: 10. juni 2016		
	Antall sider (inkl. bilag): 75		
	Masteroppgave	X	Prosjektoppgave
Navn: Øyvind Lavoll			
Faglærer/veileder: Elias Kassa			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Tor Nicolaisen, Jernbaneverket			

<p>Ekstrakt:</p> <p>Opgaven tar for seg utfordringene ved å øke andelen gods på jernbane, og fokuserer spesifikt på hvordan nye terminaler bør utformes for å sikre lave investeringskostnader, og en kapasitet som tilpasses veksten i trafikken gjennom fleretrinn. I tillegg er det vurdert hvordan avgifter som gjenspeiler togenes marginale slitaskostnader påvirker etterspørselen. Simuleringen viser at en innføring av en avgift på 8 kr/togkm gir en 11 % reduksjon i godsmengden over Brattøra terminal i Trondheim. En løsning med 2 terminaler i Trondheim (både Heggstadmoen og Brattøra) gir i følge modellen en økning i godsmengden på vel 25 %.</p> <p>Hoveddelen av oppgaven er en kartlegging av hvilke parametre som er viktige for utformingen av kostnadseffektive terminaler. Disse er korrigeret noe gjennom observasjoner som er gjort av dagens drift på Brattøra terminal, og en beregning av hva som er realistisk tog lengde på Dovrebanen. Funnene inkluderer at syklustid for reachstackere er like god eller bedre enn ved lignende terminaler i utlandet, og at det er usannsynlig med tog lengder over 680 meter på Dovrebanen – selv på lang sikt.</p> <p>På bakgrunn av disse funnene er det laget forslag til en tre-trinns utbygging av godsterminal i Trondheim. Ett av disse er kostnadsberegnet, og er sammenlignet med Jernbaneverkets utredede alternativ for Torgård. Resultatet av dette er at jernbanetilknytning er den klart dyreste delen av deres alternativ, og at lokalisering av terminal nær eksisterende spor bør tilstrebes. I tillegg er det generelt mye å spare på å redusere terminalens areal.</p>

Stikkord:

1. Godsterminal
2. Jernbane
3. Intermodal
4. Transportøkonomi



Øyvind Lavoll

Innhold

Forord	iii
Sammendrag	iv
English Summary	v
Definisjoner	vi
Figurer	vii
Tabeller	viii
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.1.1 Transport og bærekraft	2
1.1.2 Mål og hensikt med oppgaven	2
1.2 Metode	3
1.3 Avgrensning	3
2 Teoretisk grunnlag - gods på jernbane	5
2.1 Godstransport på jernbane i dag	5
2.2 Organisering av godstrafikksektoren	7
2.3 Intermodale transporter	7
2.3.1 Lastbærere	8
2.3.2 Løftesystemer	10
2.3.3 Terminalstruktur	11
2.4 Kjørevegsavgift	13
2.5 Vognlast	15
2.6 Foreslåtte tiltak for å øke jernbanens konkurransekraft	16
2.7 Situasjonen i Europa	18
3 Teoretisk grunnlag - jernbaneterminaler	20
3.1 Krav til en effektiv godsterminal	20

3.2	Fra godsterminal til intermodalt fraktsenter	23
3.3	Designparametre	24
3.3.1	Distribusjon over døgnet	24
3.3.2	Kapasitetsfaktorer	25
3.4	Systemer for automatiserte terminaltjenester	27
3.5	Automatisering av portalkraner	30
4	Dimensjonerende godsmengde	31
4.1	Sammenhengen mellom økonomisk utvikling og godsmengde . .	31
4.2	Prognose frem mot 2040	33
4.3	Resultater fra egen modellkjøring	34
4.3.1	Resultater referansesituasjon	34
4.3.2	Resultat ved delt terminal	36
4.4	Toglengder	38
5	Analyse av dagens drift på Brattøra	39
5.1	Lastflyt inn og ut av terminal	41
5.2	Bruk av depot	42
5.3	Prissetting av delingsulempen	44
5.4	Godsfordeling gjennom døgnet	45
6	Forslag til trinnvis utbygging	47
6.1	Trinn 1	47
6.1.1	Forslag til sporarrangement	48
6.1.2	Samlet kapasitet og konsekvenser for Brattøra	49
6.1.3	Hvorfor mellomalternativet?	49
6.2	Trinn 2	50
6.3	Trinn 3	51
6.4	Utfordringer og svakheter	52
6.5	Kostnader	52
6.6	Prisdrivende elementer	53
7	Diskusjon	56
8	Konklusjon	60
A	Tidsdata Brattøra	67

B	Oversikt over varegrupper	68
C	Skisse - Trinn 1	69
D	Skisse - Trinn 2	70
E	Skisse - Trinn 3	71
F	Kostnadsberegning	72
G	Beregning togvekter	74

Forord

Denne oppgaven er skrevet som et ledd i det siste studieåret ved Bygg- og Miljøteknikk på NTNU, studieretning for jernbane. Oppgaven svarer til en arbeidsmengde på 30 studiepoeng, og arbeidet har pågått i vårsemesteret 2016.

Selv om studiet har gitt en god faglig bakgrunn, har det vært mange nye tema å sette seg inn i forbindelse med oppgaven, og logistikk og transportkjeder har vist seg å være et mer spennende tema en undertegnede hadde ventet på forhånd. Jeg har fått god hjelp i forbindelse med oppgaven, og vil gjerne takke:

Prof. Elias Kassa som har vært hovedveileder for oppgaven

Tor Nicolaisen som har vært biveileder i Jernbaneverket

Paul Røvik, tidligere terminalsjef på Brattøra, og har vært behjelpelig med å svare på spørsmål om drift og tilgang til terminalen.

Førsteamanusnesis Trude Tørset, som har skaffet til veie godstransportmodellen og svart på spørsmål i forbindelse med modellering i CUBE.

I tillegg en takk til Rail Combi og Securitas som har vært behjelpelige med data og omvisning på terminalen, og Jernbaneverket, som har bidratt med kontor plass og interne dokumenter. Dette har gjort arbeidet med oppgaven lettere, og har forhåpentligvis vært med på å gjøre det til en bedre oppgave.

Trondheim, 10. juni 2016



Øyvind Lavoll

Sammen drag

Oppgaven tar for seg utfordringene ved å øke andelen gods på jernbane, og fokuserer spesifikt på hvordan nye terminaler bør utformes for å sikre lave investeringskostnader, og en kapasitet som tilpasses veksten i trafikken gjennom flere trinn. I tillegg er det vurdert hvordan avgifter som gjenspeiler togenes marginale slitasjekostnader påvirker etterspørselen. Simuleringen viser at en innføring av en avgift på 8 kr/togkm gir en 11 % reduksjon i godsmengden over Brattøra terminal i Trondheim. En løsning med 2 terminaler i Trondheim (både Heggstadmoen og Brattøra) gir i følge modellen en økning i godsmengden på vel 25 %.

Hoveddelen av oppgaven er en kartlegging av hvilke parametre som er viktige for utformingen av kostnadseffektive terminaler. Disse er korrigert noe gjennom observasjoner som er gjort av dagens drift på Brattøra terminal, og en beregning av hva som er realistisk tog lengde på Dovrebanen. Funnene inkluderer at syklustid for reachstackere er like god eller bedre enn ved lignende terminaler i utlandet, og at det er usannsynlig med tog lengder over 680 meter på Dovrebanen – selv på lang sikt.

På bakgrunn av disse funnene er det laget forslag til en tre-trinns utbygging av godsterminal i Trondheim. Ett av disse er kostnadsberegnet, og er sammenlignet med Jernbaneverkets utredede alternativ for Torgård. Resultatet av dette er at jernbanetilknytning er den klart dyreste delen av deres alternativ, og at lokalisering av terminal nær eksisterende spor bør tilstrebes. I tillegg er det generelt mye å spare på å redusere terminalens areal.

English abstract

This thesis deals with the challenge of increasing the market share for railway freight, and especially focuses on how new intermodal railway terminals should be designed to ensure a low investment cost, while at the same time being able to handle future freight volumes through a stepwise development of capacity. The future freight volumes were simulated in Norwegian National Freight model, and in addition an investigation on how two defined scenarios would affect the volumes was carried out. The first was how the introduction of a track access fee representing the marginal cost of freight train operation would affect the demand for rail transport. The second was the construction of a second intermodal terminal approximately 10 km south of the existing one in Brattøra. The results showed a 11 % *decrease* in volumes for a track access fee of 11 NOK/km, and an *increase* in volumes of 27 % for the scenario with two terminals.

The main part of the thesis is a survey of the design parameters of efficient intermodal rail terminals. These parameters have been compared with observation of the current operation in the Trondheim Brattøra rail terminal. Findings include that cycle time for reachstacker are as good or better than similar terminals abroad, and that it is unlikely to have train lengths over 680 meters on the Dovre line.

On the basis of these adjusted design parameters, proposals for a 3-step development of a new rail terminal in Trondheim has been made. The investment costs for the full development has been estimated, and shows that there is a large potential for saving by reducing the area of the terminal, and placing the terminal close to rail infrastructure. Comparison with the proposal from the National Rail Administration, shows that the rail connection is the by far largest post in their proposal.

Definisjoner

Basismatrise	Inndata i godsmodellen, inneholder godsmengder til og fra de ulike sonene
Hvitbok	En «hvitbok» (fra eng: <i>white book</i>) er en offentlig rapport som informerer om utgiverens planer eller ideer på et gitt område. Ofte i forbindelse med lovforslag
KVU	Konseptvalgutredning, overordnet utredning i forbindelse med offentlige byggeprosjekter
Litra	Klassifiseringssystem for jernbanemateriell
Reach stacker	Truck for løfting (og stabling) av containere og semihengere
RMG	Rail Mounted Gantry crane, skinnegående portalkran
RTG	Rubber Tyre Gantry crane, portalkran montert på gummihjul
Skift	Et tog i bevegelse inne på et stasjonsområde (i motsetning til tog, som er mellom stasjoner eller på hovedlinjen)
SSB	Statisk sentralbyrå
TEU	Twenty feet Equivalent Unit
TØI	Transportøkonomisk institutt, privat forskningsinstitutt som har status som nasjonalt senter for samferdselsforskning
Uttrekkspor	Et spor der man kan kjøre skift inn på, i den hensikt å få siste vogn forbi en sporveksel. På denne måten kan man kjøre skiftet inn på et annet spor enn man kom fra
Vognlast	Frakt av gods i dertil egnede lukkede godsvogner, som typisk lastes v.h.a. gaffeltruck. Vognene er lastbærer, i motsetning til f. eks. containere. Går ofte fra bedrift til bedrift via egne private sidespor

Figurer

1.1	Innenlands transportarbeid, basert på [34]. Mill tonnkm.	2
2.1	De vanligste former for lastbærer [39]	8
2.2	Ulike løfteanordninger: a) Gaffeltruck b) Reach stacker c) Portal- kran (fra [29])	11
2.3	Spreader for containerhåndtering, med løftearmer for vekslflak og semitrailere. Figur fra produsent (ELME), hentet fra [22]	12
2.4	Grafisk fremstilling av mulige terminalstrukturer [38]	13
2.5	Endring i godsmengde ved innføring av kjørevegsavgift	15
2.6	Vognlastterminal i Drammen	16
2.7	Toglengder som funksjon av vekt på lokomotiv for ulike friksjons- tall	18
2.8	Lønnsomhet i europeisk godstrafikk på jernbane	19
3.1	Direkte fremføringskostnader, basert på NGM-priser	21
3.2	Beregnet pris per løft ved ulike løfteteknologier [10]	23
3.3	Cargo Beamer-systemet [12]	29
4.1	Flytskjema for fremstilling av basismatriser	32
4.2	Godsmodellens nodetabell	36
4.3	Kilder til gods over Heggstadmoen Terminal	37
4.4	Godsmengder ved delt terminalløsning	37
5.1	Ankomstfordeling gjennom døgnet, Brattøra	42
5.2	Ankomstfordeling gjennom døgnet, Brattøra	43
5.3	Godsets fordeling over døgnet, basert på [26] og tabell 3.1	46
6.1	Sporarrangement Heimdal/Heggstadmoen	48
6.2	Området som kan frigjøres til byutvikling, trinn 1	49

Tabeller

3.1	Avganger og ankomster Brattøra	24
4.1	Godsmengder basert på modellkjøring	35
5.1	Statistikk for operasjoner, Brattøra terminal	40
5.2	Inngangsparametre skiftekostnadsberegning	45
6.1	Kostnadsestimat fordel på poster	53
6.2	Kostnad JBV Torgårdsterminalen	54

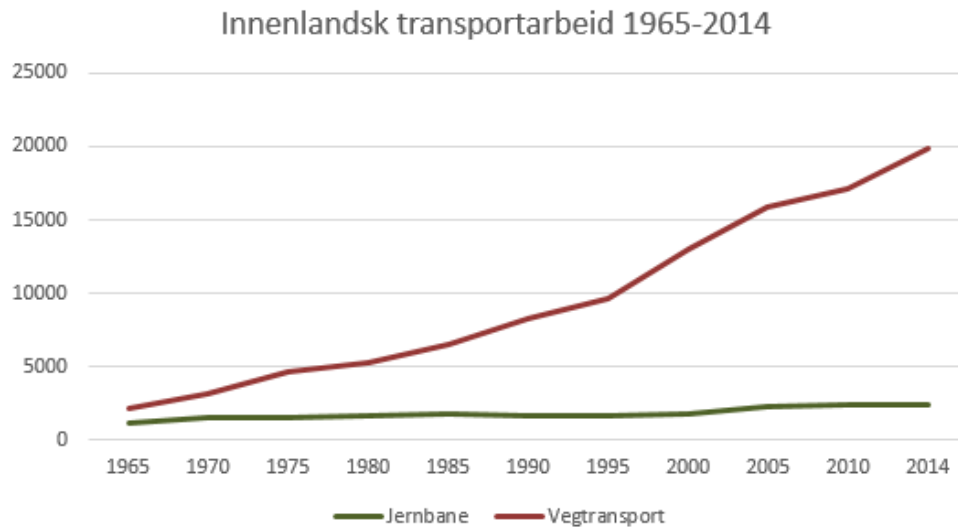
1. Innledning

Tema for denne oppgaven er intermodale terminaler for flytting av gods mellom veg og jernbane. Terminalene er et «nødvendig onde» for intermodale transportkjeder, og oppgaven søker å svare på hvordan man kan gjøre ulempen og kostnadene så små som mulig. På bakgrunn av et litteraturstudie er det utarbeidet skisser til terminalutforming for ulike godsmengder, og det er gjennomført analyser i Nasjonal Godsmodell for ett av scenariene. I det følgende kapitlet omtales dagens situasjon og driftsforhold for intermodale jernbanetransporter, og det gis en kort redegjørelse for veien frem dit.

1.1 Bakgrunn

Det har i svært lang tid vært en politisk målsetting i Norge at gods mellom landsdelene i all hovedsak bør gå på jernbane eller sjøveien, eventuelt en kombinasjon av de to. Lenge ble dette gjort gjennom direkte virkemidler (som sterke begrensninger på løyver for lastebiltransport), men i takt med økende liberalisering har regelverket gradvis blitt friere. Med Norges inntreden i EØS-samarbeidet i 1994 ble det en endelig slutt på bruk av direkte virkemidler, og målet ble isteden søkt nådd gjennom indirekte regulering i form av tilpassede avgifter. [7] På tross av målet, har utviklingen i lang tid gått motsatt vei og gjennomgående taper jernbanetransport markedsandeler på multimodale transportere. Som et illustrativt eksempel, kan utviklingen i transporterte tonnkilometer innenriks ses i figur 2.1. Jernbanetrafikken har tydelig stått tilnærmet på stedet hvil i lang tid, samtidig har veitransporten hatt en jevn vekst i tråd med at både kjøretøyteknologi og vegnett har opplevd store forbedringer.

Det hører likevel med til historien at på områder som bulktransport av tømmer og malm, er jernbanetrafikken i vekst. Hovedårsaken til den begrensede veksten, blir av flere slått fast å være en kombinasjon av dårlig punktlighet, innstillinger og pris. Som et botemiddel på hovedsakelig det sistnevnte problem, er nye terminaler pekt på som en del av løsningen. [27][33].



Figur 1.1: Innenlands transportarbeid, basert på [34]. Mill tonnkm.

1.1.1 Transport og bærekraft

Det er ikke bare i Norge det er et mål å øke godsandelen på jernbane. EU lanserte med sin «hvitbok»¹ for transport i 2011 en ambisjon om at 30 % av dagens bilfrakt over 300 km skal over på bane innen 2030, økende til 50 % i 2050. Per 2014 utgjorde samlede lastebiltransporter i EU-28² med lengde over 300 km totalt 970 milliarder tonnkm. Det vil si at i 2050 er målet at minst 435 milliarder tonnkm flyttes over på bane. Den samlede godstransporten på jernbane i EU-28 er til sammenligning i dag (2011) 420 milliarder tonnkm, og målet er dermed en dobling av dagens transport.[18] Som en del av EØS-samarbeidet vil oppfølgingen av hvitboken få konsekvenser også for Norge, men i kommende rullering av Nasjonal Transportplan er det ikke satt tallfestede mål for godsandelen på jernbane. [9].

1.1.2 Mål og hensikt med oppgaven

Oppgaven har som mål å belyse hvilke faktorer som bidrar til å gjøre gods-transport på jernbane til et konkurransedyktig transportform, med fokus på terminalenes betydning. Det er i dag planlagt utbygging av flere nye bil/bane-terminaler i Norge, som erstatning for terminaler plassert i bysentrum. Mange

¹se forklaring under «Definisjoner»

²EU's nåværende medlemsland, altså ekskl. EFTA-landene

av disse har en svært høy prislapp, og det er ønskelig å finne ut hva som er de prisdrivende elementene for nye terminaler. Det er også et mål å komme opp med løsninger som kan være like attraktive som de som er planlagt, til en lavere kostnad.

1.2 Metode

Litteraturstudium

For å undersøke i hvilken grad det allerede finnes relevante resultater på området gjennomføres det et litteraturstudium. Dette er spesielt aktuelt, fordi mange av dagens terminaler i praksis er ombygde vognlastterminaler, og som dermed har en suboptimal utforming. Søket er gjennomført primært i de 12 tidsskrift-databasene som er tilgjengelig gjennom søkemotoren Engineering Village. Blant disse finner vi Compendex og Inspec, som er de største databasene for publiserte artikler innen ingeniørfag. [25] Resultatet fra litteraturstudiet presenteres i kapittel 2 og 3, og knyttes sammen med de praktiske arbeidene i analysen i kap. 4.

Intervjuer

Det er gjennomført flere intervjuer med relevante aktører. Disse er gjennomført som «semistrukturerte intervjuer», som er en intervjuform der respondenten har blitt presentert med en plan for hvilke tema som skal tas opp på forhånd. Intervjuene er ikke transkribert, men notert på stikkordsform.

Modellering i Nasjonal Godsmodell

For å se på hvordan etableringen av en ekstra terminal i Trondheim påvirker godsstrømmene, er det gjennomført en modellering i Nasjonal Godsmodell. I tillegg er det gjort en analyse av hvordan innføringen av kjørevegsavgift på ulike nivå påvirker mengden gods som går via jernbane.

1.3 Avgrensning

Trondheim har blitt benyttet som case for analysen av terminalbeliggenhet og design av terminalløsninger. Konklusjonen er likevel relativt almenngyldige, og

bør kunne anvendes også i andre sammenhenger.

Figurer, tegninger og vedlegg

Alle figurer som ikke er fremstilt av forfatteren selv har kildereferanse. Tegningene som er utarbeidet i forbindelse med oppgaven er lagt ved som vedlegg, men er skalert ned og er således ikke i skala. Data som er brukt i forbindelse med oppgaven (fra gate på Brattøra og fra transportmodellen) er lagt ved oppgaven som zip-fil, dersom noen skulle ønske å ettergå konklusjonene eller bruke det i videre arbeid. Detaljer om registreringsnummer og lastbærer-ID er fjernet fra dataene av personvern hensyn, og dette gjør at noen av resultatene ikke er mulig å gjenskape.

2. Teoretisk grunnlag - gods på jernbane

I dette kapitlet gjøres rede for hvordan godstransporten på Jernbane fungerer i Norge i dag, og oppbygningen av intermodale transportkjeder.

2.1 Godstransport på jernbane i dag

Godstransport på jernbane i Norge har en lang historie, som ikke er videre relevant å ta opp her. Men en hendelse har fått mye å si for dagens struktur og driftsopplegg, og er verdt en kommentar: Relativt kort tid etter delingen av NSB i 1996 valgte daværende NSB Gods – I dag CargoNet AS – å legge ned all vognlastvirksomhet, med bakgrunn i sviktende lønnsomhet. Som erstatning ble det satset tungt på å bygget opp effektive kombitog mellom de store byene i Norge. I disse togene kan alle vanlige former for multimodale lastbærere fraktes, dvs. semihengere, vekselflak og containere opp til 40 fot. På tross av en kortvarig nedgang i godsmengden på jernbane, må strategien betegnes som en suksess, og bidro sterkt til at transporten på jernbane steg fra 1.7 mill. tonnkm. i år 2000, til 2.6 mill. tonnkm. i toppåret 2008. I samme periode økte antall transporterte TEUs fra drøyt 250.000 til 587.000 [17].

Enkelte utenlandske operatører har også videreført et begrenset vognlasttilbud på noen strekninger, men dette utgjør i dag en svært liten del av det totale transportarbeidet. Foruten de to nevnte tilbudene, går det også i dag en anstendig mengde med tømmer og jernmalm på deler av jernbanenettet.

Kjennetegn ved jernbanetransport

På grunn av den svært lave rullemotstanden man har på jernbane, er energiforbruket per fraktet tonn langt lavere enn for andre transportformer på land. For de fraktvolumer vi har i Norge vil energiforbruket faktisk være så lavt at elektrisk jernbane og båtfrakt er tilnærmet likestilt ($\approx 0,3$ MJ/tonnkm) [32]. Også for dieseldrevet jernbane er energiforbruket lavt, og er nær halvparten av

en lastebil, som er den meste relevante alternative transportmåten.

Jernbanen er konkurransedyktig på pris der det skal fraktes store volumer over lange avstander. Altså enten bulkfrakt av store volumer (som malm, tømmer og andre råmaterialer), eller halvstore volumer over lange avstander, som containertransport mellom landsdelene [3]. Her har jernbanen hatt en positiv utvikling i første del av 2000-tallet, og i toppårene 2006-2007 gikk nesten 60 % av stykkgodset mellom Oslo og Trondheim på jernbanen [27]. Baksiden er at jernbanedrift er svært kapitalkrevende, – selv om kostnader til infrastruktur holdes utenfor – og ofte har vanskelig for å raskt omstille seg til endringer i etterspørsel. Sistnevnte fordi det tar tid å skaffe materiell og ruteleier om etterspørselen øker, og fordi man er avhengig av relativ høy fyllingsgrad på togene. Det gjør at kapasitetsjusteringer må foregå i store trinn, og nødvendigvis vil gi dårlig lønnsomhet i perioden rundt kapasitetsendring.

For at jernbanetransport skal være lønnsomt er det for norske forhold en slags «tommelfingerregel» at transportavstanden må være over 400 km. [7]. Jernbanedrift generelt kjennetegnes også av at mye av kostnadene er faste, og at marginalkostnaden (kostnaden for å frakte én ekstra enhet) er svært liten frem til man har oppnådd maksimal tog lengde. Tall fra Sverige indikerer at for intermodale transporter må man ha ca. 80 % fyllingsgrad på togene før man tjener penger, regnet med standard tog lengder på omkring 500 meter. [13][29]. Det vil derfor være en stor fordel om volumet per tog kan økes. Spesielt i USA har dette gitt gode resultater, der det kjøres såkalt «double-stacked» containertog, med to containere i høyden. Dette er imidlertid ikke mulig i Europa på grunn av mindre lastprofil og begrenset høyde under kjøreledning. [5].

Miljøargumentet

Det viktigste argumentet for å frakte gods på jernbane, er at på mesteparten av nettet drives transporten ved hjelp av elektrisk kraft med høy virkningsgrad, og har dermed ingen direkte utslipp av drivhusgasser. På strekninger med dieseldrift er utslippene langt lavere enn om man skulle gjort tilsvarende transportarbeid med lastebil, noe som også er gjeldende for lokale utslipp av NO_x og SO_2 . Det er heller ingen problemer med svevestøv, som tidvis kan oppstå i vegnettet. I fremtiden er det også grunn til å tro at prisen for å slippe ut drivhusgasser blir høyere, noe som vil gi jernbanen et fortrinn også prismessig. [2] [32]

I tillegg til de utslippsmessige fordelene, bidrar transport med tog til færre lastebiler på veiene, noe som er positivt for trafikksikkerheten.

2.2 Organisering av godstrafikksektoren

Strukturen i godstrafikken på jernbane i Norge består av flere aktører. Vanligst er å begrense seg til dem som er strengt nødvendig for å sende en last mellom to kunder. Man står da igjen med togselskap, godsselskap, biltransportører og terminaloperatører.

Godsselskapene er de store samlasterne som Schenker, Bring og PostNord, men også store enkeltkunder (som ASKO, som distribuerer dagligvarer). [27] Godsselskapene tar i mot enkeltsendinger i form av pakker og stykkgoods, eller hele enhetslass i containere eller vekslflak. Deretter sørger de for hensiktsmessig transport fra sin terminal, enten direkte til mottager eller via andre terminaler. Det følger av dette at det i hovedsak er godsselskapene som avgjør om jernbanefrakt skal brukes i transporten.

Biltransportørene er en sammensatt gruppe, mange er selvstendig næringsdrivende, og det finnes mange små transportbedrifter. Disse kjører oppdrag for de tre andre nevnte aktørene, men det er også flere samlastere og godskunder som har egne biler.

Terminaloperatørene sørger for å laste og losse togene, og adgangskontroll/porttjenester på terminalen. Drift av terminaler har for øvrig vært gjenstand for debatt de seneste årene, i forbindelse med om man skal tillate flere operatører på én terminal. Argumentet er at med integrert tog- og terminaldrift blir togselskapene mer kostnadseffektiv. Utfallet ble at Jernbaneverket skal ta over driftsansvaret, og sette det ut på anbud på alle offentlige terminaler i Norge. [7][29]

2.3 Intermodale transporter

Betegnelsen «intermodal» brukes om transporter som benytter seg av flere forskjellige transportformer (fra engelsk, *modes of transportation*), uten at lasten i seg selv flyttes. Lasten befinner seg i eller på en såkalt lastbærer, og selve prin-

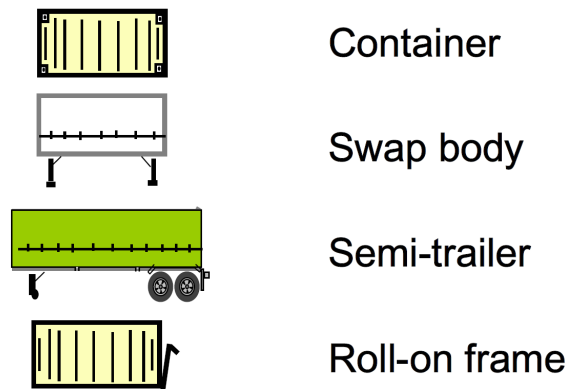
sippet har vært utnyttet så langt tilbake som sent 1700-tall, i forbindelse med kanaltrafikken. En vanlig definisjon er en transport hvor

godset blir lastet på en lastbærer hos avsender, og følger lastbæreren til mottager, hvor den blir lesset av. Lastbæreren blir flyttet minst én gang fra et transportmiddel til et annet på sin vei mellom sender og mottager. [20]

2.3.1 Lastbærere

De vanligste formene for lastbærer er containere, semihengere og vekselflak. Vekselflak skiller seg fra containere ved at disse ikke kan stables eller topp-løftes (med unntak av noen nyere typer som kan løftes). Til gjengjeld har flere egne støtteben, som gjør at de kan flyttes mellom lastebiler uten bruk av kran. Paller, kasser osv. er også en form for intermodal lastbærer, men ettersom det er svært arbeidsintensivt å flytte disse fra et transportmiddel til et annet, vil man sjelden inkludere disse i begrepet.

Unit loads



Figur 2.1: De vanligste former for lastbærer [39]

Containere

Containere lages nesten utelukkende i stål, utgjør en stor andel av lastbærerene i de kombinerte transportene, og er så godt som enerådende i transportert som involverer bruk av skip. Containere finnes i flere størrelser, de vanligste på 20, 30 og 40 fot. De finnes i forskjellige bredder, der det vanligste i internasjonal

handel er ISO-containerer med en bredde på 8 fot. For landbasert transport i europa er det også vanlig med en bredde på 2,5 meter, såkalte CEN-containerer (8 fot = 2438 mm). Grunnen til dette er at de rommer 3 europaller i bredden. Begge typer, og alle lengder kan fraktes på tog.

Veksellak

Kalles også veksellak, og er en form for flyttbart lasteplan eller beholder som er spesielt tilpasset lastebil. En mulig definisjon, oversatt fra [38] er:

En lastbærer med mål optimalisert for vegtransport, og utstyrt med nødvendig løftemuligheter for overføring mellom transportmidler, vanligvis veg og jernbane.

Opprinnelig var ikke disse enhetene mulig å stable når de var lastet, og heller ikke mulig å toppløfte. Men i dag er dette også mulig for enkelte nyere typer, og det som da i hovedsak skiller dem fra containere er dimensjonene. Det gjør at de trenger en egen godkjennelse fra UIC for å brukes på jernbane. Det er også relativt utbredt at veksellak har sammenleggbare ben, slik at enheten kan byttes mellom kjøretøy uten bruk av kran.

Semihengere

Semitrailere en av de vanligste transportformene som brukes i veitransport. Hengeren trekkes av en trekkvogn, og en betydelig del av vekten hviler på trekkvognen (derav navnet semi, av lat. *semi* = halv). Vanlig lengde er 13.6 meter. Disse kan lastes på tog på flere måter, hvorav den vanligste her til lands er ved hjelp av kran. [7] Dette forutsetter at hengeren er dimensjonert for dette, og i tillegg har løftelommer for gripearmerne fra kranen. Dessverre er det i dag en svært liten andel som har dette, eksempelvis er det i Tyskland kun 2 % [1]. Det er naturlig å anta at andelen er i samme størrelsesorden her i Norge, noe som gjør at de fleste transporter med semihengere ikke umiddelbart kan overføres til jernbane, selv om det ellers kunne vært hensiktsmessig. Flere gode ideer er lansert med tanke på å gjøre også «ikke-kranbare» semihengere mulige å transportere på jernbane, og et av disse konseptene er omtalt i kapittel 3.4.

2.3.2 Løftesystemer

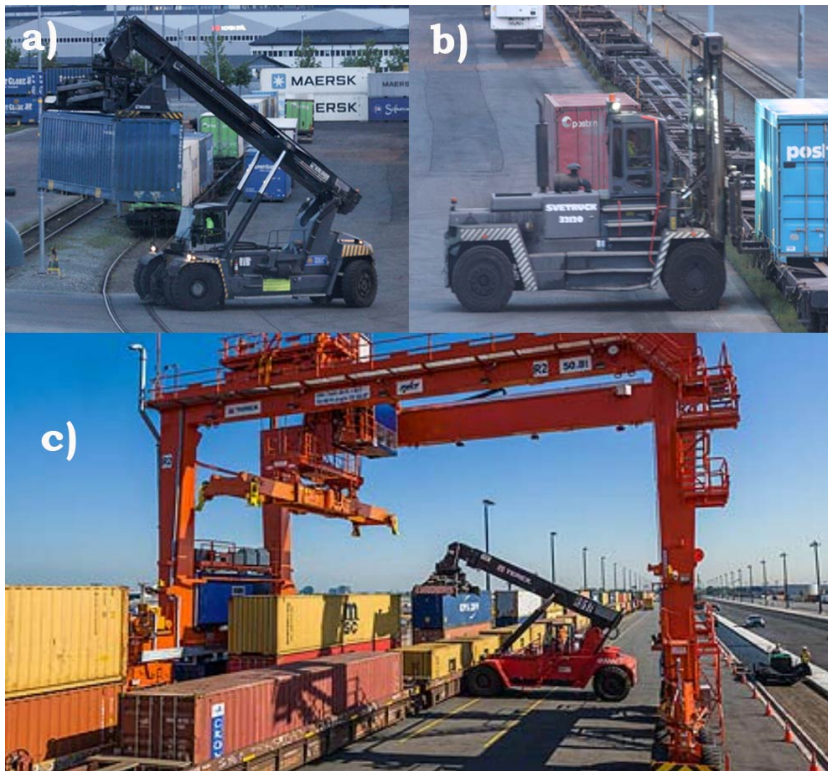
Det er i dag 3 måter å flytte lastbærere mellom transportmidler i Norge, og alle faller innenfor kategorien «vertikale overføringssystemer». Utstyret er vist i figur 2.2. Det brukes enten store gaffeltrucker (motvektstrucker fra 25 tonn og oppover) eller såkalte reach stackere¹. Dette er i praksis store trucker med teleskopbom, som er i stand til og løfte både containere og semitrailere. De er i tillegg i stand til å stable containere opp til 6 i høyden. [37]

Som nevnt skiller det mellom toppløft og bunnløft. Bunnløft gjøres med gaffeltruck ved hjelp av egne løftelommer i lastbærer, toppløft gjøres ved hjelp av en spesiell låseanordning i taket, kjent som *texttwistlock*. Ut i fra egne observasjoner (se kap. 5) ser bunnløft med truck ut til å være den raskeste måten å flytte lastbærer, mens løft av semihengere er den klart tregeste operasjonen. Dette kan skyldes både at det er mer presisjonskrevende å treffe de små festene som semihengere løftes etter, men også at løftearmene først foldes ut når truck er på plass ved hengeren. Denne operasjonen tar ca. 10 sekunder, og tilsvarende i motsatt rekkefølge. Toppløft av containere og enkelte typer vekselflak gjøres med reach stacker eller portalkran.

Portalkraner blir brukt på mellomstore til store terminaler, i hovedsak på grunn av den høyere investeringskostnaden sammenlignet med truck-løsninger. Portalkraner spenner vanligvis over 2-4 spor i tillegg til depot og lastebilområde, men kan i prinsippet bygges store nok til å spenne over langt flere. Kranene er enten montert på langsgående skinner, eller går på gummihjul (kalles enten *Rail Mounted Gantry crane – RMG*, eller *Rubber Tyre Gantry crane – RTG*). Begge typer drives enten elektrisk via kabel, eller dieselektrisk. [29] [22]

Ved toppløft og til løft av semitrailere brukes en såkalt «spreader» for å feste lastbærer til kran/truck. Disse kan justeres i bredden for å tilpasses de ulike containerstørrelsene, og har egne løftearmene for semitrailere. Til løft av containere er enheten utstyrt med standardisert låsemekaniske i hvert gjørne, såkalte *twistlocks*. En vanlig type spreader for montering på reach stacker er vist i fig. 2.3.

¹Den korrekte betegnelsen på norsk er «motvektstruck med teleskopbom og permanent montert containeråk», men reach stacker er i praksis enerådende



Figur 2.2: Ulike løfteanordninger: a) Gaffeltruck b) Reach stacker c) Portalkran (fra [29])

2.3.3 Terminalstruktur

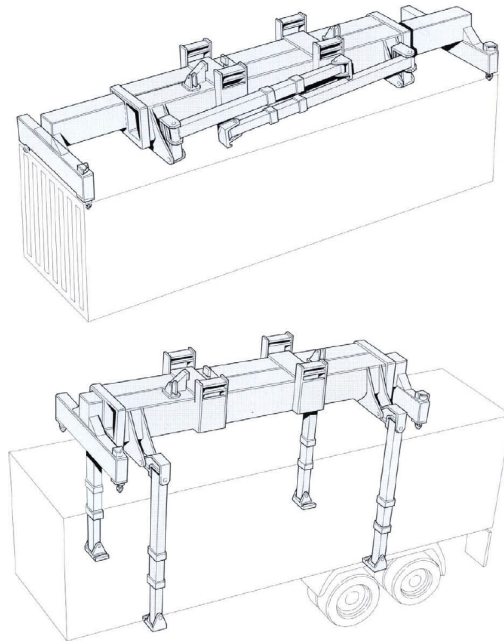
I litteraturen er det vanlig å dele trafikkmønsteret mellom terminaler inn i 5 ulike typer. Ikke alle er like vanlige på jernbanen, og i Norge er det først og fremst organiseringen som er kjent som «*hub and spoke*» som brukes. De 5 trafikkmønsterene er vist i figur , og forklares nærmere nedenfor.

Direkte forbindelse

Ganske selvforklarende, transporten går direkte mellom to terminaler, uten stopp. Dersom det er tilgjengelig kapasitet i nettet vil ruteopplegget kun skreddersys kundens behov, ettersom man ikke må ta hensyn til annet gods på veien.

Korridor

I en korridor går det en pendel med hyppig frekvens, som betjener hovedterminaler langs en strekning. Fra disse terminalene går det matetransporter til og fra omkringliggende, mindre terminaler. Denne typen terminalstruktur er ikke



Figur 2.3: Spreader for containerhåndtering, med løftearmer for veksflak og semitrailere. Figur fra produsent (ELME), hentet fra [22]

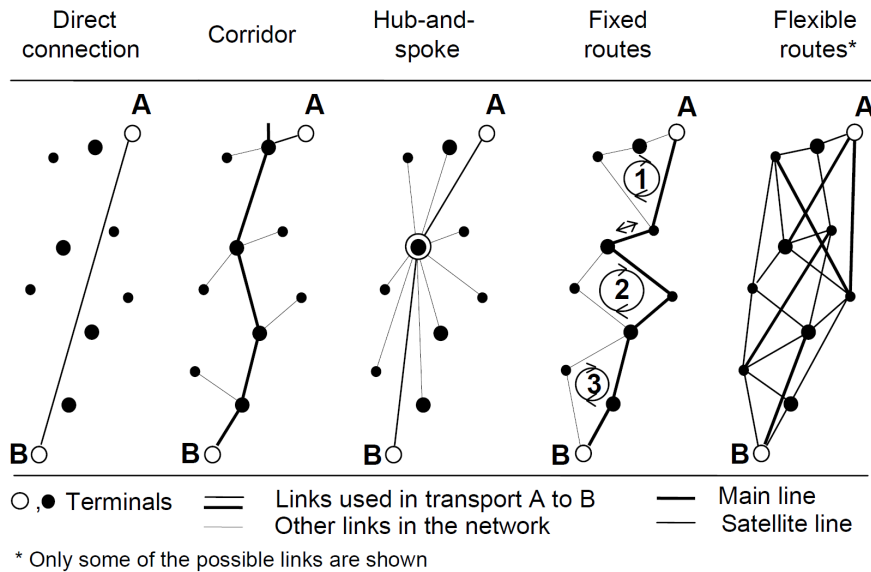
uvanlig i jernbanesammenheng, og et eksempel på en slik terminal er Mosjøen. Her blir containere satt av og på tog som trafikkerer strekningen Trondheim – Bodø, og biltransport sørger for tilbringertjenesten fra nærliggende terminaler til Mosjøen.

«Hub and spoke»

Det finnes ingen god norsk oversettelse av denne løsningen, men det kan vel oversettes som «nav og eiker». Dette er kanskje den vanligste løsningsen, og vi er kjent med den også fra flytransport. Med denne løsningen går all transport via en sentral hub (no. *nav*), også selv om sender og mottaker er nær hverandre, og langt fra huben. Selv om dette kan høres selvmotsigende ut, vil den økte transportdistansen ofte kompenseres gjennom storskalafordeler i sentralterminalen, og god utnyttelse av kjøretøy. I Norge fungerer Alnabru som et slikt nav.

Faste ruter

Her går togene i fast rute mellom terminalene, med forbindelse til andre ruter på enkelte terminaler. I motsetning til «hub and spoke»-løsningen skjer det altså omlasting på de mellomliggende terminalene. Det skjer ikke nødvendigvis



Figur 2.4: Grafisk fremstilling av mulige terminalstrukturer [38]

omlasting på alle terminaler, ettersom det stort sett bare er deler av lasten som blir håndtert. Systemet gir fleksibilitet ved at frekvens og kapasitet kan tilpasses godsmengden i hvert område, men er sårbart ved forsinkelser og kanselleringer.

Fleksible ruter

Fleksible ruter er den organiseringen som gir størst frihet, men også krever mest av planleggingen. Her blir ruter satt opp i sanntid, basert på etterspørsel i form av faktiske bestillinger. Operatøren står fritt til å velge ulike ruter mellom A og B, alt basert på hva som frakter mest gods med minst mulig ressurser. Dette krever mye av IT-systemene, både hos kunder, hos operatør og hos dem som tildeler ruter. [38][39]

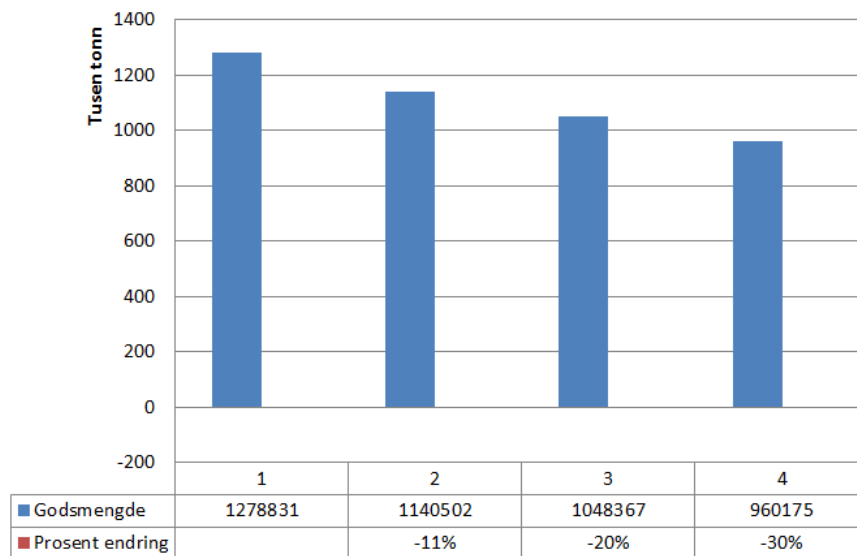
2.4 Kjørevegsavgift

Ettersom jernbanedriften i Europa gradvis har blitt privatisert, har det også blitt aktuelt for infrastrukturforvalter å ta betalt fra selskapene for å benytte skinnegang og annen infrastruktur. Dette ble også forsøkt i Norge i noen år etter opprettelsen av Jernbaneverket, men avgiften ble gradvis fjernet med begrunnelse i krevende konkurranse fra vegtransporten. Intensjonen med kjøre-

vegsavgiften er utgangspunktet tredelt, selv om det kan argumenteres for at nr. 1 og 3 ihvertfall til en viss grad henger sammen:

1. Tydeliggjøre leverandør/kunde-forholdet mellom de ulike aktørene på jernbanen, og signalisere at det koster noe å opprettholde infrastrukturen, og at disse kostnadene (i hvert fall til en viss grad) avhenger av aktivitetsomfanget på strekningen.
2. Bidra til å dekke kostnadene ved drift og vedlikehold av infrastrukturen, vanligvis basert på prinsippet om kortsiktig marginalkostnad (prisen skal dekke de direkte kostnadene ved å kjøre ett ekstra tog). Andre prinsipper er langsiktig marginalkostnad («alle kostnader utenom nyinvesteringer»), og langsiktig marginalkostnad + nyinvestering.
3. Skaffe midler til en refusjonsordning ved avvik. Kjørevegsavgiften er betaling for en tjeneste, og dersom tjenesten som leveres er mangelfull, kan hele eller deler av avgiften betales tilbake. Det gir insentiver til høy oppetid for de som eier og drifter infrastrukturen, og erstatning til de som bruker den ved avvik. På denne måten kan speditører i større grad vurdere å bruke tog, også dersom det tidvis forekommer avvik ved driften.

Den observante leser vil trolig merke seg at det ved mange avvik neppe vil finnes midler til å dekke både 2) og 3) samtidig, og at man dermed får en ond spiral. Dette, sammen med de relativt beskjedne inntektene man kan forvente, er nok noe av grunnen til at man valgte å fjerne avgiften i sin tid. Nivået på kjørevegsavgiften lå fra innføringen i 1990 på 2,5 øre per bruttotonnkm, og ble gradvis senket til 0,9 øre i 1995. For tømmertog ble avgiften beholdt til omkring år 2004, slik at de eneste stedene det fortsatt er kjørevegsavgift på norske spor, er på Gardermobanen og for tog med aksellast over 25 tonn. For sistnevnte er taksten 3,79 per bruttotonnkm, og på Gardermobanen 20,90 per togkm. [16] [24] Samtlige av disse scenarioene vil tillegge godstrafikken en kostnadsulempe på mellom 100 og 300 mill. kr. Per år, avhenging av hvilket nivå som velges på avgiften. For å få et visst inntrykk av hvordan dette vil påvirke etterspørselen etter jernbanetransport, er det kjørt simuleringen i NGM med en kjørevegsavgift på henholdsvis 8, 16 og 24 kr. per km. Dette vil omtrent tilsvare henholdsvis 1, 2 og 3 øre per brutto tonnkm, forutsatt en togvekt på 800 tonn. Resultatene er sammenfattet i figur 2.5, og viser en relativt lineær nedgang i volum etterhvert som prisen økes. Det kan tyde på at næringen vil kunne håndtere



Figur 2.5: Endring i godsmengde ved innføring av kjørevegsavgift

en innfasing av moderate kjørevegsavgifter, men det er høyst usikkert om det er samfunnsøkonomisk lønnsomt å ta inn en slik avgift, dersom konsekvensen er at en betydelig andel av godset flyttes over til veg.

2.5 Vognlast

Vognlast er betegnelsen på det som ofte vil kjennes igjen som «vanlige godstog». Disse består av en rekke ulike vogner tilpasset godset de skal frakte, som tankvogner, bilvogner og lukkede godsvogner. Sistnevnte er blant de vanligste, og brukes stort sett til gods på paller. Lasting og lossing av lukkede godsvogner foregår fra lasteramper, med plattformhøyde på 1100 mm², og gjøres med truck.

Fordelen med denne typen transport er fraværet av direkte terminalutgifter, vognene hentes hos avsender og leveres hos mottager på private sidespor. Ved store volum er det dermed svært konkurransedyktig, men når volumene synker utgjør kostnadene til skifting en større del av totalkostnadene. På grunn av vognenes profil får man også langt mer last i en lukket godsvogn enn i en semihenger med tilsvarende lengde, opptil 2,7 ganger så mange palleplasser og 2,6 ganger så mye vekt³. Disse to faktorene er med på å gjøre at vognlast fortsatt utgjør en stor

² Fra Jernbaneverkets Teknisk Regelverk

³ E-post fra Lars Strøm, Rail Terminal Drammen, 13.03.2014

del (ca 30 %) av godstransporten på jernbane i Europa. Utfordringen er at både avsender og mottagere må håndtere store nok volum til å ha egne sidespor. For typiske norske transportavstander og volum, er derfor vognlast sjeldent konkurransedyktig. Det vises også i statistikken, mesteparten av vognlasttrafikken har sitt opphav i utlandet (og har lang transportavstand, ofte fra Syd-Europa).



Figur 2.6: Vognlastterminal i Drammen

Ettersom vognlast er den eldste driftformen man har innenfor godstransporten, er naturlig nok mye av infrastrukturen rettet inn mot dette. Vognlastvirksomhet krever store driftsområder, kjent som skiftestasjoner, for å sortere vogner. Her deles togene opp, og vognene sorteres og settes sammen til nye tog med felles destinasjon. Mange av dagens intermodale terminaler er bygget i tilknytning til slike skiftestasjoner, og gjerne inne på samme område. Det gjør at utbyggingen gjerne har vært gjort i mange etapper, i takt med at trafikken har endret seg, og at flere terminaler har en uhensiktsmessig utforming, som egentlig er innrettet mot vognlast.

2.6 Foreslåtte tiltak for å øke jernbanens konkurransekraft

Ved siden av mer stabil infrastruktur og kostnadseffektive terminaler, blir lengre tog gjerne trukket frem som et tiltak for å bedre jernbanetransportørenes

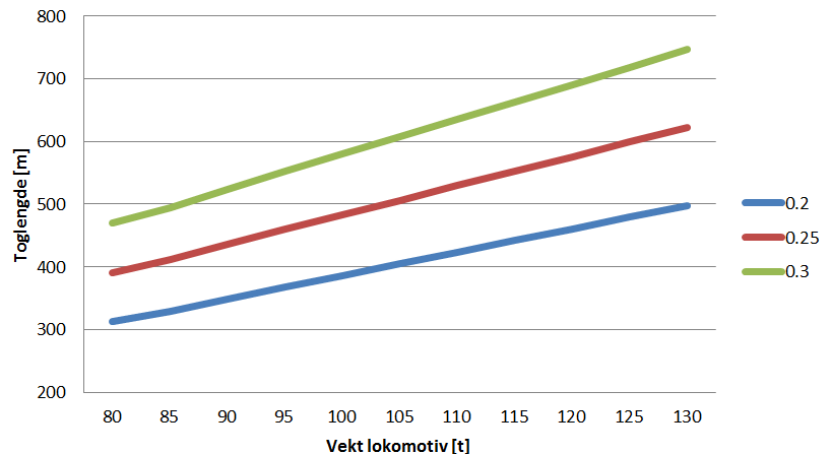
markedssituasjon. [7] [27] [3]. Dette blir dermed fort liggende som et premiss for terminalutformingen, enten tog lengden blir 600, 680 eller 750 meter. En slik økning av tog lengden kan imidlertid ikke gjennomføres uten at det får følger, og spesielt de to største lengdene er ikke mulig å gjennomføre uten omfattende utbygginger jernbanenettet. For å belyse litt av problematikken rundt å øke tog lengden, skal to konkrete problemstillinger behandles litt nærmere.

- Økt tog lengde gir økt togvekt, og vil kreve nye lokomotiver eller at man kjører med 2 lokomotiver per tog. Begge deler gir økte kostnader for selskapene, og da spesielt sistnevnte.
- I dag er det svært få eller ingen krysningsspor som er lange nok til å krysse 750 meter lange tog. Det å forlenge «alle» dagens krysningsspor vil trolig ligge langt frem i tid.

Trekrafttbehov ved økt tog lengde

I forbindelse med forfatterens deltagelse i faget «Ekspert i Team» i 2014, ble det laget et regneark for beregning av tog lengder ved ulike lokomotivstørrelser og adhesjonsforhold ⁴. Teorien bak skal ikke gås inn på her, utover at togvekten et lokomotiv er i stand til å trekke i dag vanligvis er begrenset av adhesjonen, altså hvor mye kraft som kan virke på hjulet før man får slipp. Dette er utelukkende gitt gjennom forholdet $F_N \cdot \mu$, altså av vekt og friksjonskoeffisient. For å kunne trekke tyngre tog må lokomotivene veie mer, og selvfølgelig har tilsvarende større effekt. I dag er de vanligste lokomotivene i Norge mellom 80 og 85 tonn, har og 4 aksler. [33] For å kunne økte togvekten vil det være nødvendig å anskaffe nye lokomotiv med høyere vekt, og dermed minst 6 aksler av hensyn til største tillatte aksellast. Dette gir en mulig lokomotivvekt opp til 132 tonn. Basert på regnearket, er det etablert kurver for tog lengder satt opp mot lokomotivvekt, som er vist i figur 2.7. Formlene som ligger til grunn, og et eksempel på utregning er vist i vedlegg E. Disse bygger på en antagelse om at togene går fullastet med containere med bruttovekt på 11.5 tonn, vogntypen er universelle containerhengere med litra Sdggmrs, og største stigning er 18 ‰. Det er lagt inn 3 forskjellige friksjonstall, 0.3 er vanlig for tørre og rene skinner, og 0.25 kan vanligvis oppnås i våte forhold ved hjelp av sanding.

⁴beskriver friksjon mellom hjul og skinne



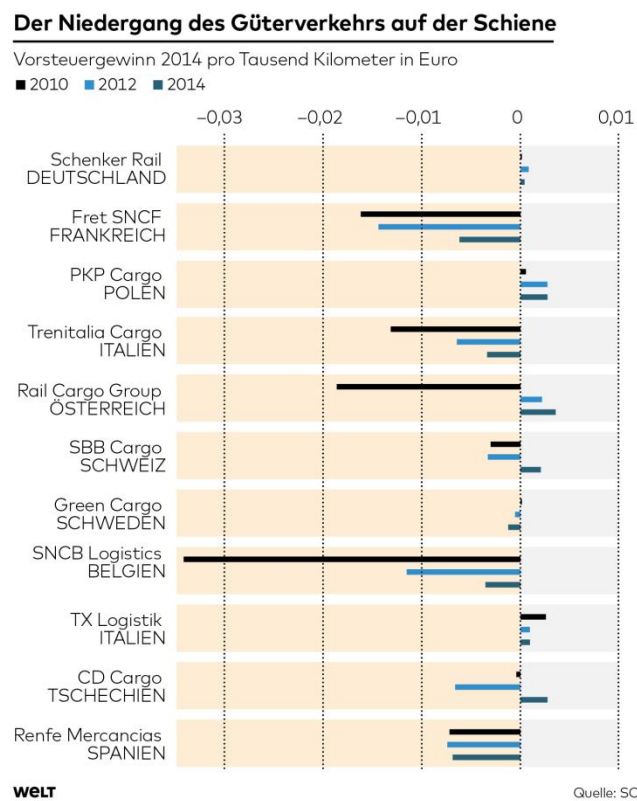
Figur 2.7: Toglengder som funksjon av vekt på lokomotiv for ulike friksjonstall

2.7 Situasjonen i Europa

Godstrafikken på jernbane sliter i motvind også ellers i Europa. Volumene er nedadgående, lønnsomheten lav eller ikke-eksisterende og punktligheten ligger stort sett rundt 70 %. Det kan kanskje høres bra ut at 7 av 10 tog går i rute, men med en industri som produserer stadig mer teknologiske (og dyrere varer), gjør det at forsinkelser får store konsekvenser. Både fordi forsinkelser binder opp store mengder kapital lenger enn tiltenkt, og fordi kompliserte forsyningskjeder blir forstyrret.

Årsakene til nedgangen begrunnes med konflikt med persontransport, og manglende prioritering av godstrafikk i trafikkstyringen. Figur viser profitt per vogn-km. for de store jernbaneforetakene i EU. [14] [18]

Det er altså tydelig at lønnsomheten er svært dårlig, og at det derfor vil være behov for betydelige insentiver for at selskapene skal være i stand til å gjennomføre de investeringene som er nødvendig for å nå målet om en dobling av godstransporten på jernbane.



Figur 2.8: Lønnsomhet i europeisk godstrafikk på jernbane [14]

3. Teoretisk grunnlag - jernbaneterminaler

En intermodal jernbaneterminals primære oppgave er å fungere som et grensesnitt mellom jernbanen og andre transportformer, og da primært vegtransport i Norge. Som nevnt i kap. 2.2 er det vanligst at terminalene eies av en statlig eller privat *infrastrukturforvalter*, som igjen leier inn en operatør til å drifte terminalen. [38]. De fleste terminaler er bygget opp av de samme komponentene, som kan oppsummeres slik (basert på [10] [29]):

1. Hensettingsspor for togstammer
2. Lastespor for lossing og lasting av tog
3. Depot for lastbærere som ikke kan settes direkte på tog/bil
4. Løfteutstyr til flytting av lastbærere
5. Laste- og kjørefelt for lastebiler, disse må ha plass til både biler som blir betjent og til biler som venter.
6. Internt vegnett og adgangskontroll/portfunksjoner

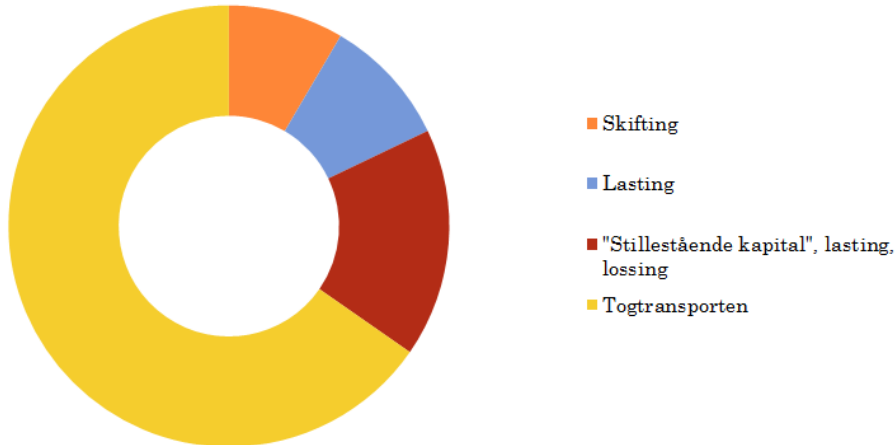
Det å optimalisere disse enkeltsystemene vil derfor være viktig for å minske både utbygging- og driftskostnaden, men i denne oppgaven er fokus primært løfteløsning, utforming av laste- og kjørefelt samt lengde på lastespor. Dette er valgt med bakgrunn i at disse antas på påvirke investeringskostnaden mest.

3.1 Krav til en effektiv godsterminal

Effektivitet er et ord som går igjen i de fleste rapporter som er skrevet om godsterminaler, sammen med påstanden om at terminalutgiftene utgjør en betydelig del av kostnadene for en bil-tog-bil transportkjede. For å ettergå denne påstanden, ble det gjennomført en beregning basert på samme metodikk som i 5.3 for

hele togtransporten. Prisene er basert på tall fra NGM, men selve enhetskostnadene er ikke vist her, da det er en viss usikkerhet rundt om disse tallene kan publiseres. Fordelingen på kostnader er vist i fig. 3.1.

Direkte fremføringskostnader



Inkludere ikke lossing/lasting av bil, eller investeringskostnader ved terminal. Basert på en typisk transport over 8 timer/500 km

Figur 3.1: Direkte fremføringskostnader, basert på NGM-priser

Terminalkostnader utgjør altså ca $\frac{1}{3}$ av kostnadene, om man tar med kapital-kostnader under oppholdet. Uten dette er det noe mindre, men det er da ikke tatt høyde for enheter som må løftes flere ganger. I alle tilfelle er det mye å hente på å gjøre terminaloppholdet så kort som mulig.

Kjennetegn på en effektiv godsterminal

Følgende elementer trekkes i litteraturen frem som vesentlige for å få en rask og kostnadseffektiv overføring av lastbærere fra veg til bane (listen er ikke i prioritert rekkefølge): [33] [38] [29]

- Lastespor som tar hele tog
- Kort tid per løft ved bruk av kran/truck
- Kort vei til depot
- Samlastere i umiddelbar nærhet
- IT-verktøy som sikrer minimal ventetid ved gate og ellers i terminalen

Det å ha lastespor som er lange nok til hele tog gjør at man både sparer investeringskostnader knyttet til sporveksler og signalanlegg, men primært ligger besparelsen i at togene kan forkorte tiden som brukes på terminal, og reduserte skiftetekstnader. De økonomiske besparelsene i driftssituasjonen er omtalt under kap. 5.3.

Avstanden til depot er mest relevant ved bruk av reachstacker, evt. ved fjerndepot¹ ved bruk av kran. Lang avstand til depot påvirker i første rekke kapasiteten ved terminalen, ettersom tidsbruken øker dramatisk dersom avstanden til depot er langt. Men det gir også økt kilometerløp på utstyret, og generelt høyere driftsutgifter. I forbindelse med analysen av dagens drift på Brattøra (se kap. 5) er det gjort en beregning av hvordan avstanden påvirker syklustiden for lasting med reachstacker, men det er ikke satt noen verdi på hva dette innebærer av økte kostnader.

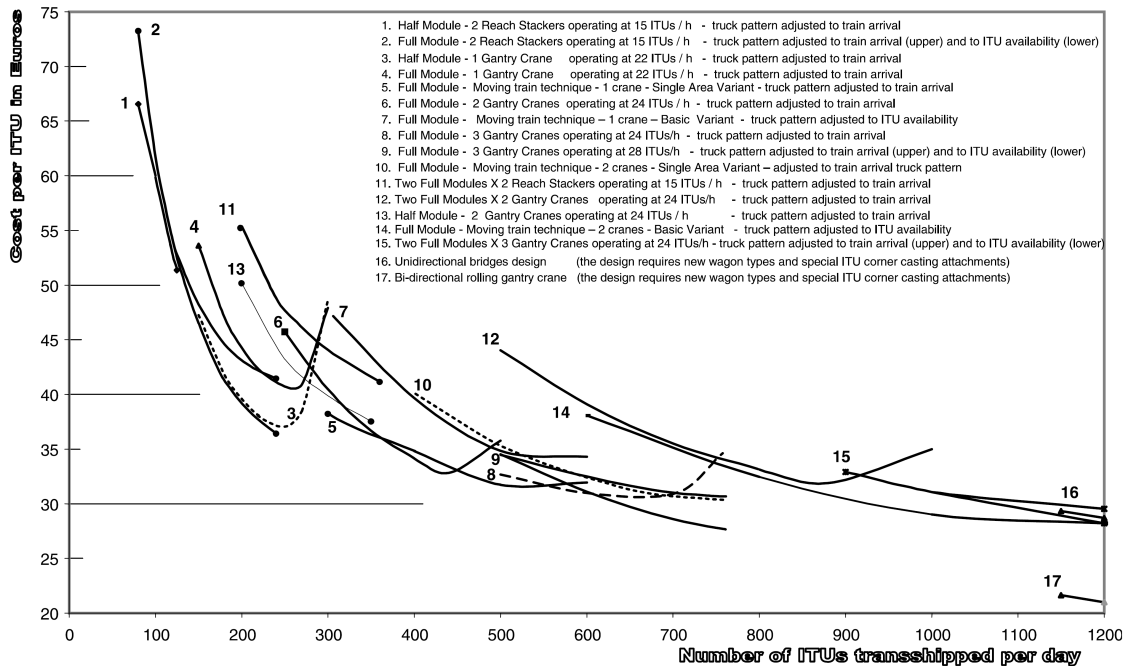
Valg av løftekonsept er også en av de viktigste faktorene for terminalens driftsutgifter, da dette både påvirker kapasitet, bemanning og vedlikeholdsutgifter. Det er omtalt nærmere i neste avsnitt.

Teknologivalg avgjørende for konkurransekraften

I flere av studiene som er gått gjennom i forbindelse med oppgaven, kommer det frem at det er en nær sammenheng mellom godsmengde, valg av teknologisk løsning for terminalen, og prisen man får per løft. [6][10] Ettersom pris er det klart viktigste kriteriet for transportørene, er det kritisk for terminalen at man velger en løsning som gir lavest mulig pris per lastbærer som er innom terminalen. [27]. En studie gjennomført av Ballis og Golias [10] i 2002, har regnet ut kostnad for gitte overføringssystemer og volumer, basert på priser i Mellom-Europa. Disse er sammenfattet i volum-pris-kurver, som er vist i figur. 3.2. Her vises tydelig at prisen varierer mye, og at kranoperasjoner er den rimeligste måten å drive på, om volumet er tilstrekkelig. Det det er også en klar asymptotisk trend rundt 30 EUR/løft. Overraskende nok er denne prisen, igjen i følge den samme undersøkelsen, nær det dobbelte av hva markedet faktisk betaler i dag. Forklaringen hevdes å være at terminalene er betalt ned (evt. betalt av offentlige tilskudd), og at prisen dermed kun skal dekke drift. Dette stemmer godt overens med tallene som er funnet i denne oppgaven også, om man regner 1400 kroner timen for reachstacker og sjåfør, og en løftetid på i gjennomsnitt 3 min (tider fra kap. 5 +

¹depot som ikke ligger innenfor kranens rekkevidde

50 %) over døgnet vil selve løftet koste 70 kroner (ca. 9 euro). Dertil kommer utgifter til administrasjon, portkontroll osv og annen drift av terminalen, som trolig vil bringe prisen opp på et i nivå i størrelsesorden av halvparten av prisene i figuren.



Figur 3.2: Beregnet pris per løft ved ulike løfteteknologier [10]

Det at investeringskostnadene ikke kalkuleres inn i prisen per løft kan nok være med på å bidra til at terminaler bygges med andre løsninger enn om terminalinvesteringen også skal dekkes inn av de som drifter terminalen. Slik det er i dag har utbygger ingen direkte insentiver for å velge den løsningen som gir lavest driftsutgifter. I det videre arbeiet med terminalutforming (kap. 6) er likevel ikke de mest utradisjonelle konseptene fra 3.2 tatt med, da disse er lite utbredt i praksis, og det finnes lite fullskala-erfaring. [10]

3.2 Fra godsterminal til intermodalt fraktsenter

Som nevnt er det viktig at en godsterminal er plassert nær brukerne av jernbanen. Om man i tillegg plasserer disse, som store lagereiere og bildistributører, i direkte tilknytning til terminalen, vil man få et konsept som vil være svært

konkurransedyktig. Likevel finnes det få eksempler på slike terminaler i Norden, og noe av grunnen er i følge Woxenius et. al [39] at biltransportørene frykter restriksjoner på sin virksomhet. Dette kan være i form av tvungen bruk av tog mellom terminaler, eller krav om samlet distribusjon fra terminal til felles kunder. Med slike restriksjoner vil tilbudet transportørene gir bli svært identisk, og de vil ha lite annet å konkurrere på enn pris. Dette er et problem det er vanskelig å regulere seg ut av, men dersom tog faktisk er en konkurransedyktig transportmåte, så bør det være et marked for selskap som driver med mer helhetlige transportløsninger i fremtiden.

3.3 Designparametre

For å kunne gi et svar på hva som er minstekrav til en terminal, er det nødvendig å få på plass noen forutsetninger. Dette går både på godsmengder, og distribusjonen over døgnet, men også på kapasitet for ulike løftesystemer, og tog lengder.

3.3.1 Distrubusjon over døgnet

I dag er det et «godstogrush» ut fra de store byene, som starter omtrent i det ettermiddagsrushet i persontrafikken avtar, altså i tidsrommet 18-23. Dette fordi det er mest hensiktsmessig for samlastere og transportører å hente godset om morgenen, og at transport mellom byene foregår over natten. Denne tendensen fremgår også av tabell 3.1.

Avganger	Ankomster
03:15	01:54
07:53	02:50
08:02	04:20
10:10	04:57
11:15	07:12
19:48	10:10
20:00	18:32
21:02	21:50
23:30	

Tabell 3.1: Avganger og ankomster Brattøra

Vendetid (total tid for lossing og lasting) for vognstammer ligger vanligvis mellom 3 og 6 timer, men kan komme helt ned i to timer. Dette vil typisk være for tog med store lastbærere (semihengere eller 40-fots containere) og forutsetter at løftekapasiteten er god. [29] Det vil da si at man i eksempelet Trondheim i perioden fra 01:54 til 05 må ha mulighet til å ha minst 4 hele togstammer på terminalen samtidig. I tillegg må det være hensettingsspor for å ta høyde for at det er lite attraktivt å sende avgårde gods om morgenen. I tillegg til dette behovet vil det typisk være behov for hensetting av vognstammer i kortere eller lengre tid, avhengig av turnering. og det må være mulig kjøre vogner til akutt vedlikehold (bytte av aksel, bremseklosser o.l) på en enkel måte.

3.3.2 Kapasitetsfaktorer

I tillegg til effektivitet, er det gjort undersøkelser på hva som er de viktigste faktorene som påvirker en terminalens kapasitet. Kapasitetsspørsmålet må ses på som et flaskehalsproblem, hvor enten jernbanenettet eller terminalene er begrensende for mengden som kan fraktes. Om terminalen er begrensende er det vanligvis en av følgende som er «knapp faktor»:

- Antall og lengde på lastespor
- Type og antall kraner/trucker
- Sammensetningen av lastbærere
- Størrelse og plassering av depot
- Terminalens størrelse
- Arbeidsrutiner og TOS²

At antallet lastespor påvirker hvor mange tog som kan betjenes er selvsagt. Men hvor mye lengden har å si vil avhenge av hva slags depotløsning som finnes. Der som man har depot på enden av sporene, vil man måtte frakte hver container langt for å sette i depot. På den annen side tar det tid og ressurser, og det er gjort forsøk på å kvantifisere dette i kapittel 4.

² Terminal Operasjons System - IT-verktøy for terminaldrift

Adriana Prince [29] har i sin oppgave gått igjennom de eksisterende metodene som brukes for å kartlegge kapasiteten på godsterminaler. Det er utviklet flere simuleringsteknikker, men disse er i begrenset bruk, og i all hovedsak innen akademia. Disse metodene baserer seg på diskret hendelsessimulering i kombinasjon med køteori. Av de analytiske metodene, fremstår metoden utviklet av Silvio Nocera som mest gjennomtenkt. Den deler terminalfunksjonen inn i delsystemer, og beregner kapasiteten for hvert system. Formlene er ganske innlysende, men det kan være nyttig for leseren å se dem likevel.

For delsystem spor har vi følgende sammenheng (fra [28]):

$$C_{rail} = n_{track} \cdot c_{train} \cdot n_{train} \cdot Ot_{year} \cdot f \quad \left[\frac{\text{TEU}}{\text{år}} \right]$$

hvor:

- n_{track} = antall spor
- c_{train} = kapasiteten per tog
- n_{train} = antallet tog pr. dag
- Ot_{year} = driftsdager per år
- f = faktor for å justere for tomkjøring

og c_{train} er lik

$$c_{train} = c_{17} \cdot n_{36} + c_{17} \cdot n_{36}$$

der:

- n_{17}, n_{36} = antall 17 og 36 m vogner
- c_{17}, c_{36} = kapasitet pr 17/36 m vogn $L \left[\frac{\text{TEU}}{\text{vogn}} \right]$

Det er endre til lengder som samsvarer med vanlige norske containertog, sammensatt av Lgs og Sdggmrss vogner med lengde på henholdsvis 17 og 36 meter. Tilsvarende sammenheng som over har vi for delsystem løfteutstyr:

$$C_{gantry} = N_{gantry} \cdot P_{gantry} \cdot U_{gantry}$$

$$C_{mobile} = N_{mobile} \cdot P_{mobile} \cdot U_{mobile}$$

$$C_{equipment} = C_{gantry} + C_{mobile} \quad \left[\frac{\text{TEU}}{\text{time}} \right]$$

$$C_{equipment,yr} = (C_{gantry} + C_{mobile}) \cdot Ot_{hrs/day} \cdot Ot_{days/yr} \left[\frac{\text{TEU}}{\text{år}} \right]$$

der:

$C_{gantry(mobile)}$ = kapasitet truck/kran

Ot = operasjonstid per tidsenhet

N_{enhet} = Antall kraner

P_{enhet} = Enhetens ytelse $\left[\frac{\text{TEU}}{\text{time}} \right]$

U_{gantry} = Utnyttelsesfaktor for å ta høyde for kranbevegelser uten last

Hva angår P_{enhet} skal denne verdien tilsvare gjennomsnittlig syklustid dividert på 60.

Disse sammenhengene ligger til grunn for beregning av årlig kapasitet på de foreslåtte alternativene. Det er likevel vesentlig å ha med seg at dette er aggregert kapasitet over hele året, og ikke bør anvendes annet enn i generelle overslagsberegninger. For praktisk kapasitet er det nødvendig å ta hensyn til rutetabell, sporutforming, hvordan bremseprøve og lokomotivbytte utføres osv.

3.4 Systemer for automatiserte terminaltjenester

Det er også utviklet en rekke systemer for å enten hel- eller delautomatisere prosessen med å løfte lastbærere av eller på tog. Den største fienden for disse systemene er at de ofte setter krav til spesielle vogner, eller spesiell infrastruktur på terminalene. Så lenge de ikke finnes noen standard, vil flere konsepter i praksis slå bena under hverandre, og det krever svært mye å komme opp til en «kritisk masse». Det finnes også automatiseringsløsninger for de mer konvensjonelle systemene, i form av styringssystemer for portalkraner, og autonome containerhåndteringskjøretøy. Disse har det til felles at de er utviklet primært for de største brukerne, som internasjonale containerhavner. Dermed vil de ofte vært for kompliserte og kostnadskrevenne å installere på bil/bane-terminaler av skandinavisk størrelse. I det videre er det valgt å kun omtale systemer som er i faktisk bruk, altså som har kommet seg forbi skisse/prototyp-stadiet. Systemene er omtalt for å vise at kran og truck ikke er den eneste måten og drive terminaler på, og man kan i teorien tenke seg at det er et marked for en slik helautomatisk løsning i Norge, om man likevel skal bygge nye terminaler.

Alternative overføringssystemer

Disse systemene har det til felles at det ikke er behov for kran eller truck for å flytte lastbærer mellom transportformene. De aller fleste av de utviklede systemene befinner seg i denne kategorien. Det finnes en lang rekke slike systemer, som aldri har kommet lenger enn skissestadiet. Johan Woxenuis [38] lister opp ikke mindre enn 12 slike systemer, og teknologien må nok i dag betraktes som både umoden og gammeldags. Dette fordi mange av prototypene bygger på lastbærere og størrelser som i dag ikke er like relevant.

Cargo Beamer

Systemet er kun beregnet på semihengere, men siden dette utgjør en relativt stor andel av trafikken i Norge, er det verdt å ta med likevel. Utviklingen av teknologien startet i 1998, og har i dag både en terminal i drift, samt togvogner som er i fast trafikk mellom Tyskland og Italia. Konseptet søker å løse to av de store utfordringene man har i intermodal jernbanetransport i dag – at en svært stor andel av semihengere ikke kan løftes med kran, og ønsket om mer effektive omlastinger.

Dette gjøres ved at hengerne plasseres på et stålfak, som både kan løftes med kran og/eller reachstacker. Dette flaket kan også overføres sidelengs, og over på en spesialvogn. Denne prosessen er automatisert, slik at den eneste manuelle operasjonen er å manøvrere hengerne på plass på flaket. Flak og henger er vist i figur 3.3.

Fordelen med systemet er – foruten at alle semihengere potensielt kan fraktes på tog – at bemanningen på terminalen kan være langt lavere, i følge produsenten helt ned til 1 person. Dette fordi trekkvognene selv kan plassere og hente henger på flak. Ulempene bunner hovedsaklig i at dette er helt ny teknologi, som i praksis krever bygging av helt ny infrastruktur på terminalene, og innkjøp av nye vogner for togselskapene. Det er svært kapitalkrevende, og det er også utfordrende at det krever en samordnet investering både fra terminaleier og togselskap for å lykkes. I tillegg vil operasjonen med å sette av og hente hengere på flak kunne innebære en økt risiko for skader, sammenlignet med konvensjonell kraning.



Figur 3.3: Cargo Beamer-systemet [12]

«MOBILER»

«MOBILER» er et konsept utviklet av de Østerrikske statsbaner, ÖBB. Det minner mye om Cargo Beamer omtalt nedenfor, med den forskjell at det her vognene tilnærmet standardisert, men lastbærer tilpasset. På denne måten kan eksisterende skinnegående materiell fortsatt brukes, men det er best egnet for bruk i faste turneringer, ettersom man nødvendigvis må ha tilbake lastbærer etter endt fraktoppdrag. Systemet har fått en viss utbredelse i Mellom-Europa, og brukes der til både bulkvarer og palletisert gods. [30]

Sideløfter

Sideløfter er en relativt vanlig form for lastebiloverbygning for containertransport. Lastepånet er laget for containertransport, og er utstyrt med 2 kraner med justerbar avstand, slik at enheter av ulik størrelse kan fraktes. På denne måten kan containere lastes på uten bruk av truck, noe som ofte er en stor fordel for mindre kunder som ikke selv kan forsvare å ha store motvektstrucker. Det finnes løsninger slik at sideløfter også kan brukes for å losse/laste direkte fra tog, men løftetiden er såpass lang at det ikke er praktisk anvendbart i terminal-sammenheng. [22]

3.5 Automatisering av portalkraner

En teknologi som er svært spennende – av flere grunner – er automatisering av portalkraner. I korte trekk kan fordelene summeres opp i følgende punkter: [29]

- Bruken av portalkraner gjør at det ikke kreves ny teknologi i togene, og eksisterende rullende materiell kan brukes uten endringer.
- Portalkraner er allerede den mest effektive måten å flytte lastbærer mellom kjøretøy, og har bevist at det er driftssikker teknologi, med lave vedlikeholdskostnader
- Portalkraner finnes allerede på mange terminaler, og kan oppgraderes ved kun å bytte ut deler av styringssystemet. Det gjør at investeringskostnaden kan bli langt lavere.

Per i dag finnes det ikke ferdige løsninger for jernbaneterminaler, men utviklingen blant kranprodusentene går for tiden svært raskt. Det finnes helt autonome kran og containerkjøretøy på store havneterminaler i Europa, som selv drifter og optimaliserer mellomagre for containere. Disse laster også enheter på lastebil.

4. Dimensjonerende godsmengde

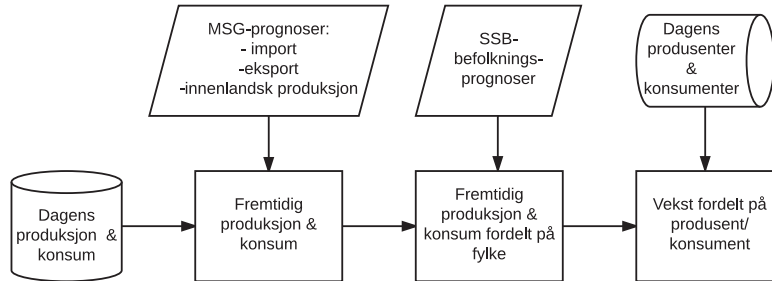
Beregningene av fremtidig godsvolum for terminalen(e) i Trondheim er gjennomført ved hjelp av Nasjonal godstransportmodell. Ettersom disse tallene påvirker hvor store godsmengder terminalen må planlegges for, er det valgt å gi en forklaring på teorien bak modellen, og hvordan den er bygget opp. Modellen kan – noe forenklet – sies å gjøre sine beregninger i fire trinn, og disse er omtalt nærmere under.

4.1 Sammenhengen mellom økonomisk utvikling og godsmengde

Godsmengdene i seg selv beregnes imidlertid ikke i Nasjonal Godsmodell, den beregner kun fordelingen mellom transportformene. Det har likevel vært en kjent sammenheng i lang tid, at det er en tett sammenheng mellom økonomisk vekst og vekst i godstransporten. Derfor gjøres beregningene i en økonomisk modell kjent som PINGO. Den er utviklet av TØI, og inneholder alle produsenter og konsumenter av varer, sortert på fylke og sone. Vi skal ikke gå i detalj på hvordan modellen er bygget opp her, men det er nødvendig å si noe om hvordan fremtidige godsstrømmer (i det videre omtalt som basismatriser) produseres.

Inndata i modellen er all produksjon og konsum av varer i referanseåret , og i tillegg alle varelager over en viss størrelse. I tillegg brukes resultatene fra nok en modell, SSBs MSG-modell (*Multi-Sectoral Growth model*), som er vekstprognose for den norske økonomien. Vekstprognosene brukes som eksogene variable i PINGO, og beregningene kjøres for ett år av gangen gjennom prognoseperioden. Resultatet er de såkalte basismatrisene (eller PWC-matrisene, *fra eng: Producer-Warehouse-Consumer*) som inneholder tall for godsmengdene mellom sonene landet er delt inn i. [36] Et flytskjema for prosessen er vist i figur 4.1.

Det er disse basismatrisene som brukes om inngangsdata i Nasjonal Godsmodell. Prosessen videre er tilnærmet lik som for persontrafikkmodeller, og kan deles inn



Figur 4.1: Flytskjema for fremstilling av basismatriser

i tre trinn.

1. Det første trinnet er å bygge opp mulige transportkjeder mellom alle sendere og mottagere. Modellen inneholder en fullstendig oversikt over transportnettverket i Norge, med tilhørende hastigheter, fergefrekvenser, kaidybder, terminaler osv. Ikke alle godstyper kan bruke alle transportformer, eller alle terminaler, noe som er tatt høyde for i nettverket. Eksempelvis kan ikke tømmer fraktes med varebil, eller laks med tankskip.
2. Når de mulige transportkjedene er bygget opp, blir fremføringstiden regnet ut, og deretter de generaliserte kostnadene. I dette begrepet ligger bare de direkte transportkostnadene, modellen tar ikke hensyn til vareeiers verdsetting av tiden transporten tar (som har sammenheng med varens verdi), eller usikkerheten rundt når varen kommer frem (forsinkelskostnad) eller om varen kommer frem uskadet (skadekostnad). [19] Men alle kjøretøytyper har individuell vektning av tids- og distansekostnader, avhengig av kjøretøyets egenskaper og ekstrakostnad ved bompasseringer og ferge-transport. Som et eksempel vil kjøretøy med høy innkjøpspris (og dermed høyest kapitalkostnad) i stor grad velge raskeste vei, mens kjøretøy med lav innkjøpspris (typisk mindre lastebiler) gjerne vil velge korteste vei. For ordens skyld er oppbygningen av generalisert kost mellom to soner (i - j)

vist i ligning 4.1.

$$GC_{ij} = t \cdot tid_{ij} + d \cdot avstand_{ij} + C_{bom/ferge} \quad (4.1)$$

- GC_{ij} = Generaliserte kostnader mellom sone i og j
 t = pris per tidsenhet
 d = pris per avstandsenhet
 $C_{bom/ferge}$ = Direkte kostnader til bompasering, ferge o.l.

3. Når både de mulige transportkjedene og de tilhørende generaliserte kostnadene er regnet ut, blir hver sending fordelt på den kjeden som har lavest generalisert kostnad. Dette kalles nettutlegging, og kan gjøres på to måter, avhengig av om man tar hensyn til kapasitet eller ikke.
 - (a) Ved kapasitetsuavhengig nettutlegging, finner modellen den billigste transportkjeden for gitt vareslag og volum, og tildeler denne kjeden all transporten.
 - (b) I tilfellet der man tar hensyn til kapasiteten, er det vanlig å gjøre dette ved at transporttiden blir lengre når volumet øker. Dette er spesielt vanlig i trafikkteori, og gjøres med såkalte volum-forsinkelse-kurver. For gods er ikke dette like aktuelt, da det ville krevd høyoppløste trafikk tall for hele vegnettet). Imidlertid er det lagt inn funksjonalitet for kapasitetsbegrensninger i jernbanenettet, men disse er ikke tatt i bruk, primært fordi det er ønskelig å se hvor mye gods som potensielt kan gå på bane.

Når dette er gjennomført for alle varegrupper i modellen, kan man se belastningen på hver enkelt lenke i transportsystemet. I tillegg er det mulig å få eksporter for alle omlastingspunkt, og det er disse filene som er benyttet for å finne årlig volum fra Trondheim. [23]

4.2 Prognose frem mot 2040

Fremskrivningene er basert på de nevnte basismatrisene produsert av PINGU-modellen, og disse er produsert for år 2030 og 2040.

Det er likevel grunn til å være litt kritisk til disse tallene, ettersom modellen – som forklart ovenfor – baserer seg på dagens bedriftsstruktur, og dagens vegnett. Det er planlagt flere tiltak som taler mot en så høy vekst. Som eksempler kan nevnes at det i perioden frem mot 2025 skal åpnes mer enn 260 km ny E-6 på strekningen Oslo-Trondheim, og at det fra 1. april 2016 ble åpnet for modulvogntog i hele korridoren Svinesund-Trondheim. Det er ikke planlagt investeringer som i nevneverdig grad påvirker kjøretiden på jernbane på samme strekning. [13] [35]. Per 2016 er det heller ikke sannsynlig at prognosen for 2020 nås, da mengdene pr. 2015 fortsatt ligger nær nivåene fra 2008 [17].

I det videre arbeidet med utforming av terminalløsninger det derfor lagt til grunn at mellomalternativene skal kunne håndtere henholdsvis 200.000 og 300.000 enheter. For full utbygging må det finnes mulighet til å bygge ut slik at man kan håndtere 400.000 enheter per år.

4.3 Resultater fra egen modellkjøring

Modellen kjørt både i basissituasjonen med dagens terminal (som en kontroll av at tallene gir mening), og i en ny situasjon med 2 terminaler.

4.3.1 Resultater referansesituasjon

Resultatene med én terminal på Brattøra og basismatriser fra år 2014 og 2040 er vist i tabell. 4.1 Sortering på varegrupper er tatt med for å vise hvilke typer gods som primært går på bane. Som tabellen viser, er det typiske industriprodukter som metallvarer, maskiner, organiske råvarer som dominerer transporten. Sommert er også matvarer en stor gruppe.

Konvertering til containere

Godsmodellen gir mengder i tonn, og det er derfor nødvendig å anvende en omregningsfaktor for å finne det tilsvarende antallet containere. Strengt tatt bør vi ta hensyn til konsolidering og egenvekt av de ulike varegruppene, men for enkelhets skyld benyttes kun en standardisert vekt på 9,5 tonn per container, hentet fra «Bred godsanalyse». [8] Det gir 204 000 containere per år, og 329.000 containere i 2040. Sammenlignet analysene som er gjort i forbindelse med KVVU-arbeidet gir tallene i 2040 god mening, men tallene for referansesituasjonen er for høye, og innebærer nær en dobling av den trafikken som er på terminalen

Nr. i modellen	Varegruppe	2012	2040
2	Frukt, grønt, blomster og planter	62835	101112
4	Innsatsvarer, termo	23577	51839
5	Fersk fisk og sjømat	16449	36173
6	Fryst fisk og sjømat	324	498
7	Termovarer, konsum	32681	54721
8	Matvarer konsum	83747	146872
11	Organiske råvarer	122262	146033
12	Andre råvarer	89	100
13	Jern og stål	306451	274426
15	Metallvarer	695494	1310200
17	Plast og gummi	5362	5859
19	Trelast og trevarer	197312	325463
21	Papir	14515	16879
26	Maskiner og verktøy	213517	457409
28	Byggevarer	166803	198049
SUM		1 878 584	3 024 521

Tabell 4.1: Godsmengder basert på modellkjøring

i dag. [21] Det har ikke vært mulig å finne noen god forklaring på hva denne differansen skyldes, men en mulighet er den lave driftsstabiliteten som har vært på jernbanen i årene fra 2008 og frem til 2014, og at godsmengden på jernbanen kunne og burde vært høyere om ikke man hadde hatt denne dårlige perioden. [27]

Endringer i modellen

Modellen er som nevnt bygget av av en kostnadsmodell og et transportnettverk. For å gjennomføre de ønskede forsøkene i forbindelse med denne oppgaven, har det vært nødvendig å gjøre endringer i begge. Endringer i kostnadsmodellen gjøres i Excel, og deretter implementere endringene i inputfilene gjennom å kjøre et ferdig script i Cube. Endringer i terminalfilene er derimot en mer omstendelig prosess, spesielt fordi dokumentasjonen er noe mangelfull på dette området, noe som har medført en del prøving og feiling. Ved endring i terminalfilene må først data om terminalens beliggenhet og tillatte varetyper legges inn. Dette gjøres ved hjelp av et dataverktøy i CUBE.

Når dette er gjort må terminalen knytte opp mot det eksisterende transport-

nettverket. Dette er bygget opp av lenke- og nodetabeller, og det krever en del graving for å finne ut hvilke noder som er naturlig å knytte terminalen opp mot. Når dette er gjort må de nye lenkene mellom terminalen legges inn i node-tabellen. Hvordan dette ser ut er vist i figur. 4.2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	NodeNr	ZoneNr	Zone10	Area	Domestic	TerminalT	RoadAvail	ContAvail	SeaAvail	Wagonloa	RailAvail	AirAv
1074	8258	2025	10	0	20 L		0	0	0	0	0	
1075	8259	2028	10	0	20 L		0	0	0	0	0	
1076	8260	2030	10	0	20 L		0	0	0	0	0	
1077	9001	1677	8	0	16 R		1	0	0	1	1	
1078												
1079												
1080												
1081												

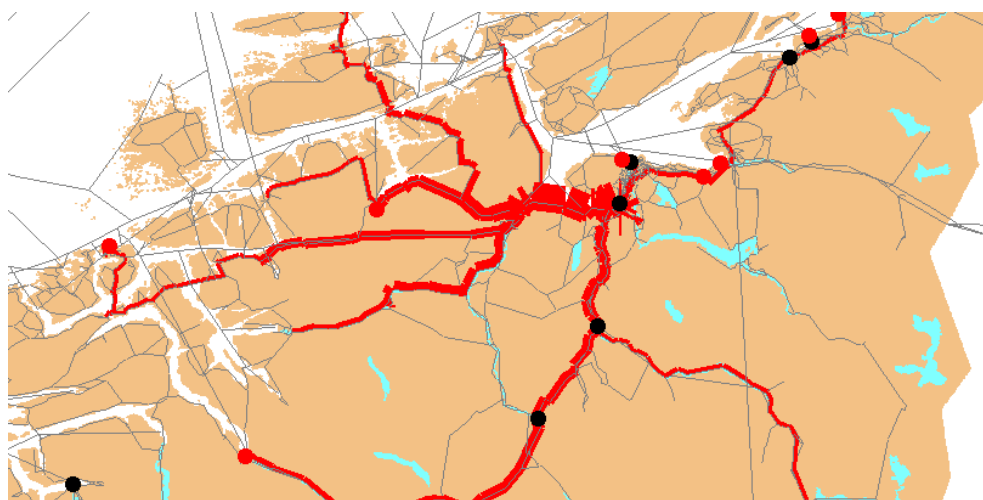
Figur 4.2: Godsmodellens nodetabell

Man må altså ha informasjon om hvilken node man knyttes til, sonen terminalen ligger i, «storsonetilknytning» (Zone10, Trøndelagsfylkene utgjør f. eks. til sammen en storson), fylke og hva slags type terminal det er snakk om. En tilsvarende fil må fylles ut for å etablere lenkene, og her må alle tilknytninger for sonene, samt tillatt hastighet legges inn. Når dette er lagt inn, kjøres et script som importerer node- og lenkefilene i CUBE, og oppdaterer nettverkets grafiske visning.

4.3.2 Resultat ved delt terminal

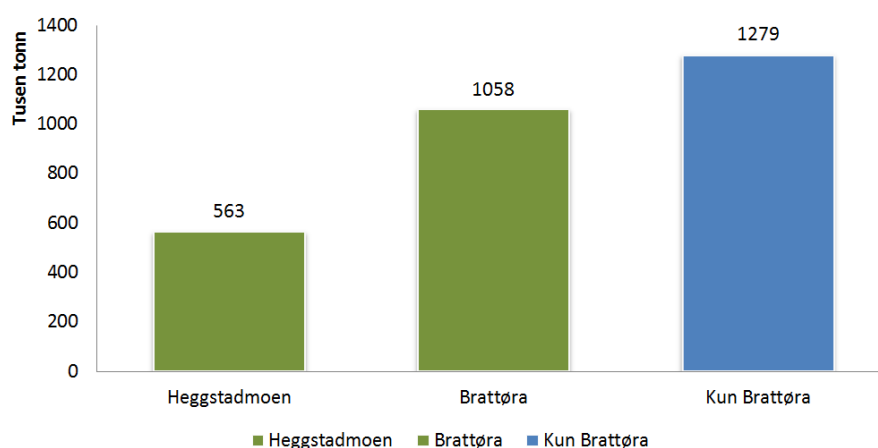
For å se på hvordan markedet mottar en løsning med delt terminal i Trondheim er terminalen på Heggstadmoen lagt inn i modellen. Prossessen rundt hvordan dette rent teknisk gjøres er forklart nærmere under seksjon 4.3.1. Analysen er gjort på aggregerte varegrupper, (industrivarer, stykkgoods, fisk og termovarer), og en oversikt over hvilke grupper som hører til her kategori finnes i vedlegg B. Ikke uventet er Heggstadmoen å foretrekke for alt gods som kommer sørfra. Noe overraskende er det derimot at også noe gods nordfra velger å kjøre til Heimdal fremfor Brattøra. En mulig forklaring på dette er at Strindheimtunnelen ikke er lagt inn i modellen, og at E6 Omkjøringsvegen gir raskere adkomst til Heimdal enn Brattøra/sentrum. Godsstrømmene til Heggstadmoen for stykkgoods er vist i figur 4.3.

Et resultat som er mer interessant, er at 2 terminaler i følge modellen er i stand til å øke godsmengden på vei betydelig, alt annet uforandret. Nedgangen er på kun 17 % på Brattøra (eller 221.000 tonn), mens den totale økningen i forhold



Figur 4.3: Kilder til gods over Heggstadmoen Terminal

til referansen er på hele 27 % (342.000 tonn) Mengdene er sammenfattet i figur 4.4.



Figur 4.4: Godsmengder ved delt terminalløsning

Svakheter ved prognosene

I de fremskrevne scenarioene, er transportnettverket det samme, men det er i stedet benyttet basismatriser for år 2030. Ettersom det ligger inne relativt store forbedringer i transportnettverket frem mot 2030, spesielt for vegtrafikken mellom Oslo og Trondheim, har denne fremgangsmåten åpenbart sine mangler. [13] En fullstendig oppdatering av nettverket i tråd med planlagt utbygging i NTP er likevel en stor oppgave, som ligger utenfor det som er mulig å få til i forbindelse med denne oppgaven. Om man ser det i sammenheng med planlagte

oppgraderinger i terminalene, er det også mulig at forskjellene til en viss grad vil nulle hverandre ut. Resultatet av kjøringen for år 2030 er vist i tabell.

4.4 Toglengder

På Dovrebanen i dag kjøres det tog med lengde på ca. 450 meter og togvekter på ca. 1000 tonn, basert på data fra Jernbaneverkets toginformasjonssystem, TIOS. I utredningsrapportene pekes det på at dette gir dårlig lønnsomhet for togselskapene, og at man i fremtiden er avhengig av lengre tog for å kunne drive lønnsomt. [27] [8] Likevel vil det by på problemer å øke den lengden om man skal basere seg på dagens – i hovedsak– 4-akslede lokomotiver. Man står dermed enten foran en investering i nye 6-akslede lokomotiver, eller man blir avhengig av å kjøre togene med 2 lokomotiver i hvert tog. Sistnevnte ble dementert som ulønnsomt av daværende direktør i Cargo Link¹ før man fikk en lengde på togene som nærmet seg minst 750 meter. En overslagsberegning basert på satser fra NGM bekrefter dette, og det kan antydes at kapitalkostnadene øker med ca. 80 %, samtidig som antallet TEU i toget kun øker med 30 % ved en økning i toglengde fra 460 til 600 meter. Det gjør at det er tvilsomt om operatørene vil ønske å kjøre slike tog, at og toglengdene i praksis vil bli begrenset til den lengden man kan trekke med 6-akslede lokomotiver. Det er derfor lagt til grunn en toglengde på maksimalt 680 meter i utformingen av alternativene i kap 6.

¹Møte med Karl Ivar Nilsen 10.03.14

5. Analyse av dagens drift på Brattøra

For å få en verifisering av en del av dataene som er fremkommet i litteraturstudiet, er det gjennomført en enkel studie av dagens drift på brattøra. Det har spesielt vært ønskelig å ettergå påstanden om at «*Dagens terminal er (...) lite effektiv*». [33] Metoden har ganske enkelt vært å observere driften fra gangbroen over terminalen, og ta tider på de ulike operasjonene. Det har vært spesielt ønskelig å få data på hvor mye tid som går med til å dele og skjøte togstammer. Har man det, er det mulig å forsøke å sette en kostnad på skifteoperasjoner, og dermed beregne fordelene med en gjennomkjøringsterminal¹. Dataene som er samlet inn består av:

- **Tid per løft**, fordelt på de to trucktypene reachstacker og gaffeltruck. For reachstacker er det skilt mellom toppløft (brukes på containere, og enkelte vekselflak) og bunnløft, som brukes på semihengere og evt. vekselflak. Løftetiden er regnet fra trucken starter å svinge inn mot lastbærer, til trucken igjen er parallell med sporene. Den inkluderer dermed ikke tiden det tar å flytte seg fra ett løft til et annet, eller fra løftested til depot. Grunnen til at denne formen ble valgt, var at det på samtlige skift var såpass sjelden at to løft ble foretatt rett etter hverandre, og dette vanskeliggjorde måling av full syklustid.
- **Tid per deling**. På Brattøra må togene deles, vanligvis i 3 deler, for å få plass på lastesporene. Det er tatt tider både på totalt medgått tid fra deling påbegynnes til den er slutført (kun på 3-delig), og tid per deling.
- **Tid sammenskipling**. Før avgang må togene igjen skiftes sammen, og det er tatt tider både på hele prosessen, og per del. Tiden er regnet fra skiftelokomotiv settes i bevegelse mot vognstammen, til hele toget er klart i avgangsspor.

¹terminal der togene kan kjøres direkte inn fra begge sider, og dermed gjør skifting overflødig

- **Tid til bremseprøve.** Bremseprøve må gjøres på alle godstog før avgang, og krever at bremsekontrollør går rundt hele toget for å se at bremser tilsettes og løses som de skal, og at bremseskiver og fjærer er i godt stand.

Dataene er tatt over 3 forskjellige skift, og alle er fra ukedagene. Skiftene foregikk i dagslys, og man kan ikke se bort i fra at enkelte operasjoner er mer krevende i mørke (og ikke minst om vinteren). Det er dermed lagt vekt på å ikke trekke for vidtrekkende konklusjoner.

Fra råtidene er det regnet ut gjennomsnitt og standardavvik, og dataene er sammenfattet i tabell 5.1. En mer detaljert fremstilling finnes også i vedlegg A.

Operasjon	\bar{x}	n	s
<i>Reachstacker</i>			
Tid pr løft, container	1:53	13	23 s
Tid per løft, semi	2:12	15	30 s
Tid per løft, gaffeltruck	1:30	20	23 s
Tid per deling	6 min	2	n/a
Delingstid pr tog	18 min	1	n/a
Tid sammenskiifting	10:50	6	2:21
Sammenskiifting per tog	29 min	2	n/a
Medgått tid til bremseprøve	8 min	4	2:15

Tabell 5.1: Statistikk for operasjoner, Brattøra terminal

n = antall observasjoner

\bar{x} = gjennomsnitt

s = standardavvik

Som vist er det gjort relativt få observasjoner, og de meste må kun oppfattes som en indikasjon. Imidlertid er det en signifikant forskjell i løftetid mellom reach stacker og gaffeltruck (signifikansnivå 0.1). Men selv om målingene er litt få til å konkludere bastand, er hovedinntrykket at operatørene på Brattøra i dag er svært gode på det de driver med, og løftetidene ligger tett opp mot det som er teoretisk mulig. De er også klart bedre enn anslagene som er brukt i bl. a. rapporten «*Evaluating intermodal freight terminals: a framework for government participation*» [6]

Tallene i ovenfor kan brukes videre til å antyde lossetid per tog, og minste vendetid. Dette kan igjen brukes til å antyde noe om terminalens døgnkapasitet, gitt den noe tvilsomme forutsetningen om jevn pågang gjennom døgnet.

Om vi setter inn i formlene som vist i 3.3.2 får vi at dagens terminal har en teoretisk kapasitet på ca. 168.000 TEU per år, gitt lastespor for 4 tog samtidig og en vendetid på 3 timer.

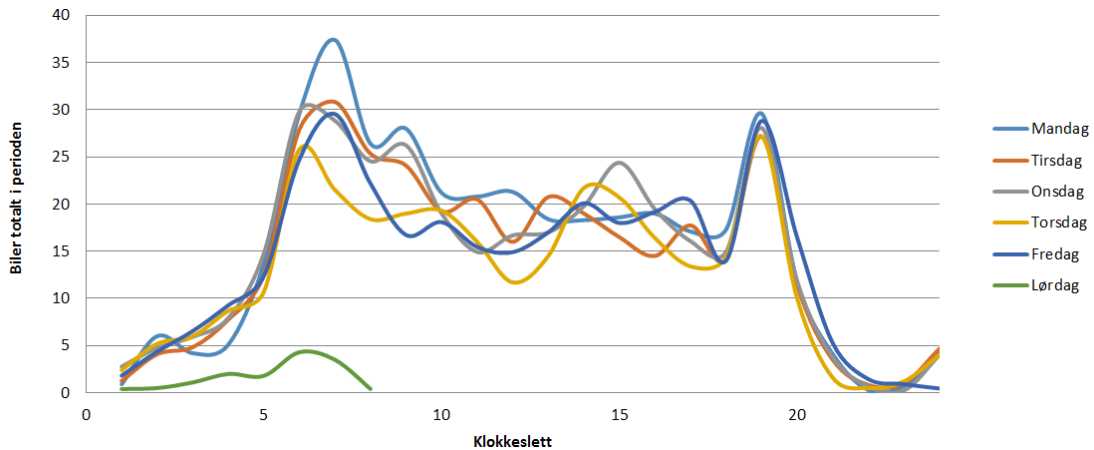
5.1 Lastflyt inn og ut av terminal

Med tanke på dimensjonering av vegsystemet i tilknytning til terminalen, og behovet for depotkapasitet, er det nyttig å vite noe om lastflyten inn og ut fra terminalen. Hypotesen var på forhånd at fordelingen vil følge en tilnærmet normalfordelt kurve med negativ skjevhet, altså slik at antallet ankomster er økende nesten helt inn mot lastefrist, før det avtar brått.

Ankomstene er analysert ved hjelp av loggen ved portkontrollen på Brattøra, som inneholder alle biler inn på terminalen. Dataene er hentet fra 1.-25. mai 2015.

Det er også gjort en undersøkelse av samlede ankomster til terminalen, der det ikke er skilt på henting eller levering. Denne undersøkelsen er basert på hele perioden 1. mars – 25. mai 2016, og det er justert for høytidsdager. Datasettet inneholder 36 719 ankomster, og resultatet er vist i figur. 5.1. Som det fremgår er det ingen stor forskjell mellom dagene, med unntak av en markant topp i morgenrushet mandag. Det er lett å forklare med stengt terminal søndag, men stor ankomst av tog søndag kveld og natt til mandag. Det er også verdt å merke seg den markante økningen rett før kl. 20 hver kveld. Dette kan delvis forklares med arbeidsløstidens slutt, men en stor del av containerne skal også med toget til Fauske/Bodø med lastefrist kl. 19.00, kombinert med henting fra ankommende godstog med lossestart samme tid. På tross av dette er det likevel ganske jevn pågang gjennom dagen, slik at det i utgangspunktet ikke bør være nødvendig å dimensjonere for store trafikktopper rundt togavgang.

I etterkant har funnene blitt sammenlignet med Prince [29], og det viser seg at denne fordelingen over døgnet også stemmer godt overens med hennes funn i en tilsvarende studiet ved Göteborg Gullbergsvass containerterminal.



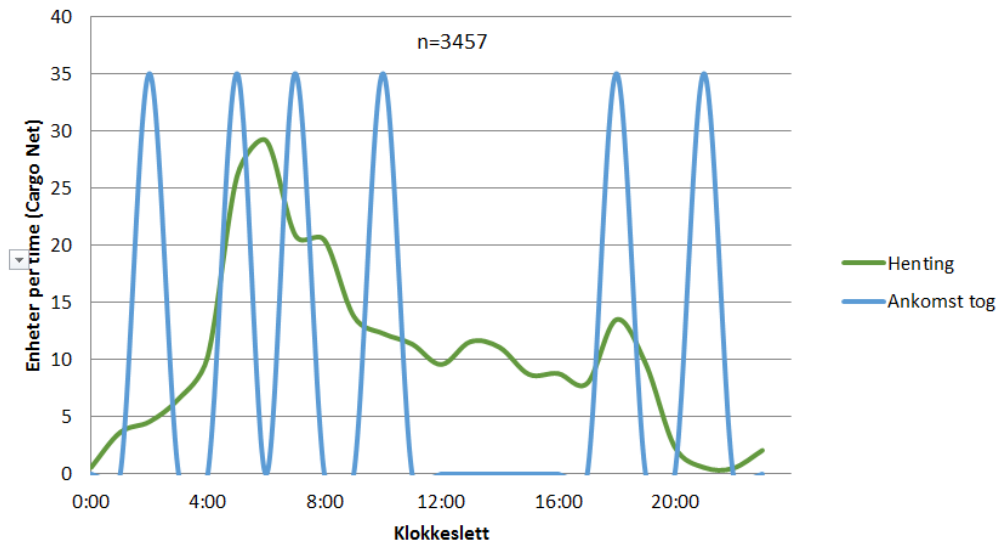
Figur 5.1: Ankomstfordeling gjennom døgnet, Brattøra

5.2 Bruk av depot

Dersom gods ankommer terminalen uten at togstammen godset skal med er på plass, er det nødvendig å sette godset i depot. Det svært viktig for en terminal å ha nok depotkapasitet, ettersom man ellers vil måtte avvise gods som kommer inn. Tilsvarende gjelder også for gods som ikke blir hentet innen rimelig tid fra togankomst, da togstammen enten skal avgå i et nytt tog, eller skiftes bort fra lastesporene. I dataene fra Brattøra er det også oppført hvor containerne som ankommer plasseres, men dette gjelder kun gods som skal til operatøren Cargo Net.

Basert på ankomstloggen for månedene mars og april 2016 blir 14 % av ankommet gods satt i depot, noe som utgjør ca. 48 enheter per døgn for gods som kommer til terminalen på lastebil. På dager med ekstra store volum (som fredag før pinse), vil imidlertid antallet kunne være høyere. Hva gjelder antallet enheter som settes i depot fra ankomne tog, finnes det ingen informasjon i datasettet om dette. Det er likevel valgt å gjøre en enkel sammenligning med gods som ankommer, gitt en forutsetning om 35 lastbærer på togene. I dagens tog på Dovrebanen kan man typisk ha inntil 48 20-fots containere, eller 24 semihengere/40-fots containere. Resultatet er vist grafisk i figur 5.1.

Som det fremgår er det liten henting før kl. 4 om morgenen, men det er likevel svært mye som i teorien kan være hentet i løpet av 2 timer etter togankomst, med unntak av toget med ankomst 01.54. En mulig stor feilkilde er likevel at bilene ikke nødvendigvis henter gods fra togene som er vist i diagrammet. Men basert på disse tallene, kombinert med visuell observasjon under 3 skift på Brattøra



Figur 5.2: Ankomstfordeling gjennom døgnet, Brattøra

våges et grovt anslag på at ca. 20 % av godset som ankommer fra tog settes i depot. Det tilsvarer et behov på $\tilde{x} \cdot 20\% = 323 \cdot 0.2 = 64$ depotplasser med dagens trafikk. Ved teoretisk makskapasitet vil det være behov for $(168.000/360) \cdot 0.2 = 93$ depotplasser.

Transport til/fra depot

En annen faktor som er viktig å ta hensyn til ved planlegging av nye terminaler, er tiden som går med til å frakte lastbærere til og fra depot. Observasjon av kjøretider på Brattøra gir følgende indikasjon på sammenheng mellom transportavstand og syklustid (merk at antallet observasjoner er lavt, og er dermed beheftet med en viss usikkerhet)

$$t_{\text{depot}} = 80 + 0.4 \cdot d$$

$$t_{\text{depot}} = \text{Syklustid per enhet [s]}$$

$$d = \text{avstand fra vogn til depot [m]}$$

Regresjonen er basert på $n=5$ målinger, og har en R^2 -verdi på 90. Sammenlignet med løft som går direkte fra tog til bil er det åpenbart at kapasiteten på terminalen stuper om en stor del av lastbærerne må om depot. Eksempelvis vil man, dersom man antar at avstand til depot er 200 m, og at et løft fra depot til bil også tar ca. 80 sek, ha kun $\frac{1}{3}$ av den kapasiten man ville hatt om alle lastbærere gikk direkte mellom tog og bil.

5.3 Prissetting av delingsulempen

I det følgende avsnittet gjøres et forsøk på å antyde kostnaden forbundet med deling og skjøting av togstammer, som er nødvendig ved for korte lastespor. Samme tall vil også kunne brukes til å anslå kostnaden ved å ha sekketerminal, sett opp mot en gjennomkjøringsterminal.

Det å beregne priser innen jernbanetransport har tradisjonelt vært svært vanskelig, av årsaker som oppsummeres presis av Cantos et al: I mange tilfeller inkluderer prisene store dekningsbidrag,² intern kryss-subsidiering, eller bestemmes på bakgrunn av den høyeste prisen som markedet kan bære. I den videre vurdering er prisene basert på at investeringer i materiell skal være nedbetalt på 30 år, og øvrige priser reflekterer faktiske utgifter til vedlikehold o.l. Prisene er innhentet og/eller beregnet av TØI i forbindelse med arbeidet med Nasjonal Godsmodell. Følgende tas hensyn til ved beregning av brukskostnad for rullende materiell

- Investeringskostnad + renter og avdrag over 30 år fordelt per driftstime
- Vedlikeholdskostnader fordelt per km
- Drivstoff/strøm per km
- Togførerpris per time

og dette er de grunnleggende forutsetningene:

- Jernbanemateriell har en årlig driftstid på 2400 timer for lokomotiver, 2000 timer for containervogner
- Nedbetalingstid er 30 år
- Rentesats er 3.5 %
- Lønn til togførere er satt til 800.000 (alt inkl.)

²Bidrag til dekning av kostnader som ikke kan brytes ned på en enkelt operasjon eller produkt, f. eks. kapital- og leasingkostnader

Beregning av skiftekostnader

Skifteoperasjonene er en av hovedforskjellene mellom en sekketerminal og en gjennomkjøringsterminal. Det å vite noe om hvor mye skiftingen påvirker driftsutgiftene er derfor av betydning når man skal sette alternativene opp mot hverandre. Tallene er hentet fra grunnlagsmateriale i NGM, og verifisert med «*Prices and costs in the railway sector*» [11], og er sammenfattet i tabell 5.2

Investeringskostnad	5,500,000
Nedbetalingstid	30 år
Rentesats [%]	3.50
Årlig kapitalkostnad [kr]	279,583
Årlig kilometer [km]	50000
Gjennomsnittlig hast. [km/t]	30
Driftstimer [t]	1667
Estimert årlig vedlikehold [kr]	165,000
Dieselpri per liter [kr]	6.336
Dieselforbruk [l/km]	1.3

Tabell 5.2: Inngangsparametre skiftekostnadsberegning

Basert på disse verdiene er det mulig å regne ut kostnaden per time, som er summen av kapital- og vedlikeholdskostnader delt på antall timer, i tillegg til driftskostnader delt på antall timer. Svaret vi får er 2100 kr/time, dette er brukt i de videre beregningene.

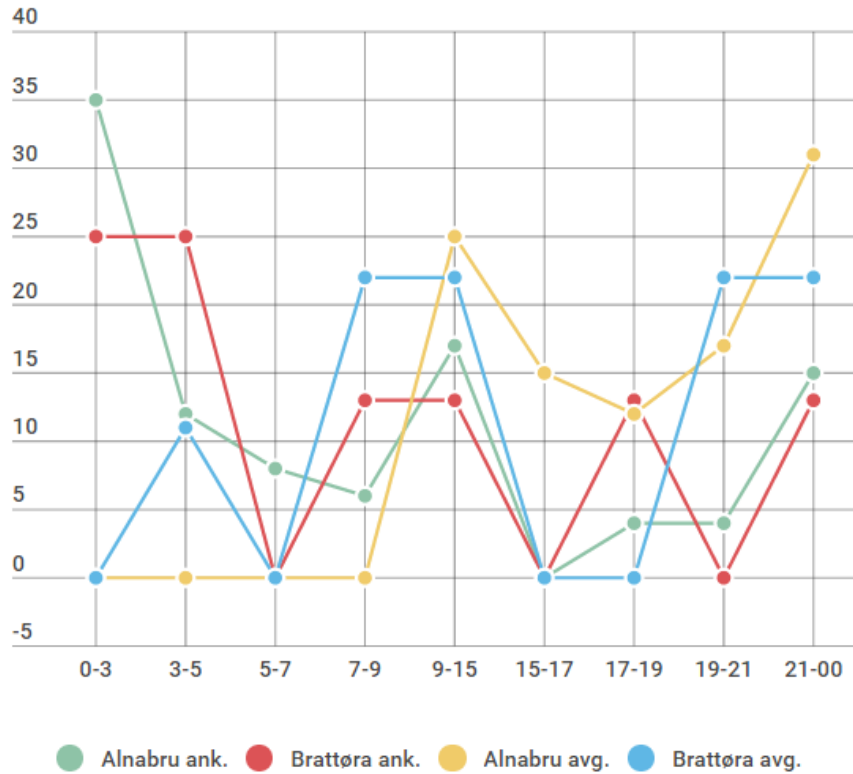
Fra første avsnitt har vi at samlet delings- og sammenskiftingstid for togene på dagens terminal er ca. 40 minutter. Legger vi til grunn at skifting helt elimineres ved en gjennomkjøringsterminal, og 15 togpar per dag, gir dette en årlig besparelse på 6.8 mill. per år. Neddiskontert gevinst³ av redusert skifting over 30 beløper seg dermed totalt til 125.3 mill. kr.

5.4 Godsfordeling gjennom døgnet

Som det også fremgår av tabell 3.1, er det en stor skjevhet i godsmengden gjennom døgnet. Dette skyldes i hovedsak to ting. For det første at det til tider er lite tilgjengelig kapasitet i jernbanenettet. For det andre at speditørene

³gitt 3.5 % kalkulasjonsrente

foretrekker transport over natt. I figur 5.3 er døgnfordelingen av avgang- og ankomster for Brattøra og Alnabru vist.



Figur 5.3: Godsets fordeling over døgnet, basert på [26] og tabell 3.1

Som det fremgår, er ikke fordelingen helt sammenfallende for de to terminalene, noe som heller ikke er å forvente. Det vi imidlertid kan tolke ut fra denne figuren, er at det er svært få tog som har avgang eller ankomst som sammenfaller med rushtiden for arbeidsreiser, altså da persontogproduksjonen er størst.

6. Forslag til trinnvis utbygging

Basert på kunnskapen som er opparbeidet om terminal- og jernbanedrift i de tidligere kapitlene, vil det videre bli skissert forslag til en trinnvis utbygging av kapasiteten i Trondheimsområdet. Det er gjort noen forutsetninger, og disse begrunnes kort her:

- Basert på beregningene i kap. 4.4 legges det opp til tog lengder på linje med dagens i trinn 1, 580 meter i trinn 2, og 680 meter i trinn 3.
- Det er nødvendig med forlenging av spor 3 og 4 på Heimdal stasjon, slik at disse kan brukes til rundgang med lokomotiv og til kort venting ved ankomst og avgang. Ettersom dette trolig må gjøres uansett for å gi mulighet til å krysse og vente med godstog samtidig som persontog betjener stasjonen, er dette ikke tatt med i kostnadsestimatene.
- Ved beregning av kapasitet er det lagt til grunn av reachstacker klarer 20 løft/time (tider fra kap. 5 pluss et påslag for kjøring mellom enheter), og at kran klarer 35 løft/time. I tilrådsrapporten [21] er det lagt til grunn en løftekapasitet på 55 løft/time, men dette virker noe høyt, spesielt sammenlignet med f. eks. fig. 3.2. Krankapasiteten er derfor skjønnsmessig satt til 35 løft per time.

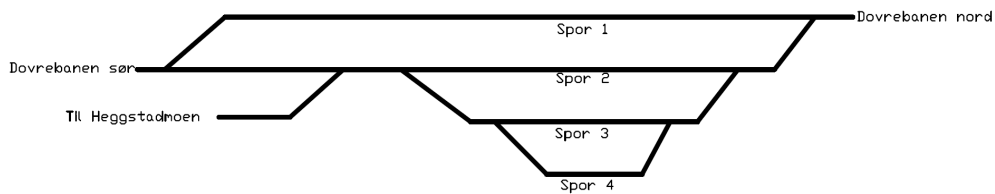
En annen elegant konsekvens med å utvide jernbaneaktiviteten på Heggstadmoen er at det i sørenden av område finnes et område med sportilknytning som er regulert til vognlastvirksomhet, og eies av ROM Eiendom. Det gjør at en enkel vognlastterminal bør kunne etableres svært rimelig, men dette er ikke tatt med i kostnadsestimatene for containerterminalen.

Tegninger for alle trinn er vist i vedlegg C–E.

6.1 Trinn 1

I første utbyggingstrinn flyttes deler av dagens terminaldrift til Heggstadmoen ved Heimdal. Ved å gjøre dette oppnår man å ta de korteste sporene på Brattøra

ut av drift, og slipper dermed unna med 1 deling per togstamme. På Heggstadmoen er det lange nok spor at inntil to togstammer under 450 meter kan lastes uten å deles. I tillegg kan en tredje togstamme betjenes delt. Det er ikke nok tilgjengelig areal i dag til å klare seg uten deling, med mindre man går til skritt som ekspropriasjon og omlegging av veier. Dagens sporarrangement på Heimdal/Heggstadmoen er vist skjematisk i figur 6.1, og alternativ 2 er vist i vedlegg D.



Figur 6.1: Sporarrangement Heimdal/Heggstadmoen

På det tilgjengelig arealet er det mulig å få plass til 4 lastespor, som dermed kan håndtere 2 til 3 hele vognstammer samtidig. Avhengig av hvor stor løftekapasitet som settes inn, vil det være mulig å oppnå vendetider ned mot 2 timer per sett, som dermed gir en teoretisk kapasitet på 24 tog per døgn. I tråd med begrensningen i kap. 5.4 vil det tilsis en praktisk kapasitet på 16 tog/døgn. I tillegg vil det være behov for spor til å sette ut vogner med feil, og til å skifte sammen togene. Det vil kreve en omlegging av sporarrangementet på Heimdal stasjon, slik at man får et separat spor å skifte ut hele tog på (samt utføre bremseprøve), og i tillegg et separat kortere spor som uttrekksbord Dette er nødvendig for å ikke forstyrre persontrafikken på Heimdal stasjon ved avgang, ankomst og deling av togstammer.

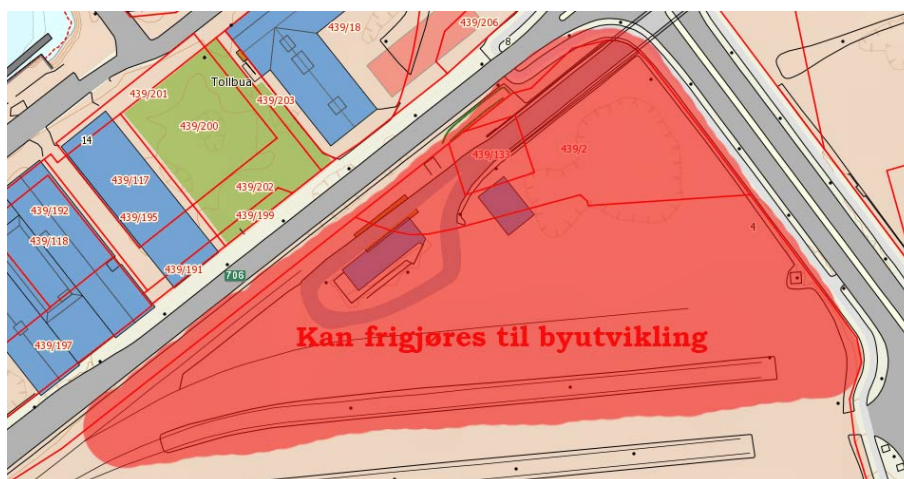
6.1.1 Forslag til sporarrangement

I det første utbyggingstrinnet er det valgt 4 lastespor á 350 meter, samt ett servicespor med plass til 4 vogner og et verkstedtelt. Dette for å unngå at vogner må sendes til Marinborg eller Brattøra for å få utført skifte av brems eller aksler, noe som er relativt vanlig, spesielt i vintersesongen. [33] Det er valgt sentralt depot, ettersom både målinger på Brattøra og litteraturen forøvrig indikerer at det er og forøvrig utnyttelse av den fulle bredden på tomten. Det gir en bredde på lastegatene på 130 meter.

For lastebiltrafikken er det valgt port på sørsiden, i tilknytning til veien «Terminalen». Dette gir en løsning der de 2 midterste sporene må krysses i plan, og dermed vil oppholde biler i noen minutter hver gang det foregår skifteoperasjoner. Det vurderes likevel som en mer hensiktsmessig løsning enn å snu biler i hver lastegate, eller å bygge kulvert (som vil spise mye av det tilgjengelige arealet, og være svært prisdrivende).

6.1.2 Samlet kapasitet og konsekvenser for Brattøra

Den valgte løsningen vil gi mulighet til å ta i mot flere tog enn de 4 nordre sporene på dagens Brattøra terminal. Det vil derfor være en mulighet til å rive disse, og benytte arealet til byutvikling allerede før hele terminalen er nedlagt. Hvorvidt det er en ønsket løsning er usikkert, da det kan vanskeliggjøre en helhetlig utbygging av området, og kan kreve flytting av dagens port østover.



Figur 6.2: Området som kan frigjøres til byutvikling, trinn 1

6.1.3 Hvorfor mellomalternativet?

Et relevant spørsmål som er reist av både forfatteren selv og av veileder underveis, er om det er nødvendig å ha med mellomalternativet. Det fremstår unektelig som mer rasjonelt å kun bygge én ny terminal, og dermed unngå dobbeltinvesteringer og parallell drift av flere terminaler. Det er imidlertid flere ting som taler for et mellomalternativ

- **Tidshorisonten.** Her er det to hensyn som peker seg ut: Byutvikling på dagens terminalområde på Brattøra og nærhet til kundene som bru-

ker jernbanen. Flere av dagens store godskunder (Bring, PostNord m.fl.) har allerede bestemt – eller går med planer om – å flytte aktiviteten fra sentrum/Lade-området til tomter sør for byen. [33]. Selv om ikke avstanden øker mye, vil det likevel føre til en høyere noe høyere distribusjonskostnad og langt større lokal trafikk med dertil tilhørende utslipp. Området på Heggstadmoen ligger i umiddelbar nærhet til Schenker omlastingsterminal, og i kort avstand til øvrig industri på Heimdal. Men viktigst er at det allerede har sportilknytning og kan utbygges umiddelbart, uten omreguleringer eller andre byråkratiske hindringer.

- **Beslutning om ny terminal drar ut i tid.** Diskusjonen om ny terminalplassering i Trondheim er langt i fra ny, og selv om en løsning tvinger seg på i takt med urbaniseringen av Brattøra, blir beslutningen stadig dyttet fremover i tid. For å være sikker på at man ikke taper konkurransekraft i tiden frem til en ny terminal står klar, står mellomalternativet frem som fordelaktig løsning. Man er sikret kapasitet på kort sikt, og man har mulighet til intern avlastning mellom terminalene. Terminalen på Heggstadmoen vil også kunne driftes mer rasjonelt enn dagens terminal på Brattøra, som omtalt i kap.

6.2 Trinn 2

Det er videre forutsatt at terminalen skal kunne utvides til å dekke den en godsmengde på 400.000 TEU per år, som antatt i kap.4.2. En viktig detalj som må avklares er om man i fullt konsept skal basere seg på en kranløsning eller ikke. I litteraturen og i de fleste fagnotater i Norge pekes det på at portalkran er en mer effektiv løsning enn truck og reachstacker. Akkurat hvor mye avhenger av kilde, men her er antatt at en portalkran klarer 35 enheter/time. Valg av løfteløsning har mye å si for terminalens utforming, ettersom man ved reachstacker er avhengig av å ha direkte adgang til sporene. Det er dermed ikke mulig å legge mer enn to spor ved siden av hverandre, og en 4-6 spors terminal basert på reach stacker vil dermed beslaglegge et langt større areal. Ved kran vil derimot alle sporene kunne legges langs hverandre, og dermed kunne gi en langt «smalere» terminal.

Med bakgrunn i dette, er det foreslått at mellomtrinnet utformes med 4 lastespor for betjening med reachstacker (hvorav ett også ligger under kran). 3 av disse sporene er de samme som i første byggetrinn, men forlenges. Sporarrangementet legges tilrette for at det i siste byggetrinn kan bygges hensettingsspor i lastegaten som benyttes av reachstacker. I tillegg til disse 3+1 sporene ligger ytterligere 2 spor under kran. Denne bredden er valgt fordi man da kan benytte den vanligste formen for RTG-kran, som spenner over 6 containere og kjørefelt, altså 23.6 meter. Dette er standardiserte kraner som kan kjøpes inn for en pris i størrelsesorden 15 mill. kroner [37] I tillegg etableres det hensettingsspor som kan inngå i en fremtidig kranløsning over 6 spor. På denne måten kan terminalen ha inntil 9 togstammer inne samtidig, hvorav 7 tilgjengelig for lasting.

Det gir terminalen lastespor med en lengde 520 meter. Basert på diskusjonen i 4.4 bør dette være tilstrekkelig på mellomlang sikt, i det minste frem til man har anskaffet trekraft som kan trekke tog opp til 1400 tonn.

Kapasitet

Om vi legger til grunn formlene for nominell kapasitet som er presentert i kap. 3.3.2, og standardparametrene som beskrevet i starten av kapitlet kommer vi frem til at terminalen får en årlig kapasitet på 330.000 enheter, da begrenset av løfteutstyret.

6.3 Trinn 3

I trinn 3 bygges terminalen ut med spor i minst 680 og eventuelt 750 meter lange spor. 750 forutsetter at en del betingelser fylles opp, og dette er omtalt nærmere i avsnitt 2.6. Håndteringen med reachstacker avsluttes, og det bygges hensettingsspor i lastegaten lengst øst. Imidlertid er arealet for lite til å oppnå samme lengde på hensettingssporene, slik at togstammer med lengde over 550 meter må deles når de hensettes.

Kranløsningen spenner over 6 spor, og er i utgangspunktet tenkt som skinnemonterte kraner. Dette fordi RTG-kraner krever mer plass, og man slipper systemer for autostyring av kranens hjul [22] depot og lastesone,

og det er i første omgang lagt opp til 2 kraner. Dette gjør at spennvidden må være ca. 45 meter.

Basert på de samme formler som tidligere, gir dette en årlig kapasitet på 420.000 enheter per år, igjen begrenset av løfteutstyret.

6.4 Utfordringer og svakheter

All trafikk til og fra terminalen går på to spor, hvorav all trafikk til hensettingsspor over kun ett. Dette gjør vedlikeholdsoppgaver vanskelig, og terminalen svært sårbar ved for feil. I tillegg har man kun to ankomst/avgangsspor på Heimdal stasjon, slik at skiftingen til og fra terminal må skje raskt ved tett toggang. Basert på dataene fra Brattøra kan det antydes at denne prosessen tar ca. 15 minutter per tog, og noe kortere ved ankomst. Tog nordover kan kjøres rett fra terminal.

I tillegg er konseptet sårbart ved stor differanse mellom når tog ankommer og avgår, ettersom terminalen kun kan ha 9 togstammer inne totalt.

Det er også et problem at de foreslåtte tiltakene forutsetter innløsning av flere eiendommer der det i dag foregår aktivitet. Likevel anses dette som en bedre løsning enn en terminal på Torgård, ettersom også dette alternativet forutsetter stor innløsning av eiendommer for å få frem sportilknytning. På Heggstadmoen er det også mulig med en gradvis utvidelse, slik at eierne av de berørte eiendommene får tid på seg til å flytte drifte på en fornuftig måte.

6.5 Kostnader

Følgende kostnadsestimater er på ingen måte et fullverdig svar på hva en slik utbygging vil koste. For mange av de materielle investeringene som må gjøres finnes det imidlertid gode kilder, spesielt på jernbaneteknisk materiell, der prisene er hentet fra Jernbaneverkets innkjøpsdatabase. Det er altså mulig å finne et slags «gulv» for prisene, begrenset av innkjøpsprisen for alle nødvendig komponenter. Det er likevel såpass langt unna reell kost, at det er valgt å bruke en *top-down*-tilnærming. Dette innebærer å innhente enhetspriser fra lignende prosjekter, for så å anvende disse på mengdene

i eget prosjekt. [15]. I dette prosjektet er priser for grunnarbeid hentet i hovedsak fra flyplass-prosjekter, ettersom dette er svært sammenlignbart hva gjelder bæreevne. Det har dessverre ikke vært mulig å få noen til å verifisere enhetsprisene som er brukt, men pris for grunnarbeider og dekke er sjekket med entreprenør, som hevder de er ”– *innafor*”. En full oversikt over hvor prisene er hentet fra, og hva som inngår i kostnadsberegningen er vist i vedlegg F, mens en oversikt over postene er vist i 6.1.

Post	Pris [Mill. NOK]
Grunnarbeid inkl dekke	78
Sporarbeid	54
KL-anlegg	36
Nye veger	14
Sporveksler	37
Eiendomsinnløsning	95
Signal	145
2 portalkraner	89
Belysning, gjerder	12
Terminalbygg, port	6
SUM	569

Tabell 6.1: Kostnadsestimat fordel på poster

I tillegg kommer påslag til byggherre, rigg og drift. I sum gjør dette at byggekostnadene anslås til 684 mill kr, og da er prosjektering holdt utenom. Dette tallet er sammenlignbart med den endelig prisen for utbyggingen av Ganddal godsterminal i Stavanger, som kostet 585 mill. 2006-kroner. [4] Dette tilsvarer ca 880 millioner i dag justert etter byggekostnadsindeksen, men inkluderer også opparbeiding av et stort speditørområde.

6.6 Prisdrivende elementer

Først er det nødvendig med en presisering av hva som forstås med *prisdrivende*. Bokmålsordboka definerer det ganske enkelt som noe som «*noe som fører til økning i prisene*». Dette kan forstås på to måter. Enten de elementene som i sum koster mest, eller som det som øker kostnaden sammenlignet med en referansesituasjon. For hvilke elementer som i sum koster mest, er det nok å henvise til tabell 6.1, som viser at signalanlegg,

eiendomsinnløsning og sporarbeid er de største postene. Om man derimot sammenligner med Jernbaneverkets foreslått utbygging på Torgård, vil man kunne se hva som driver utgiftene sammenlignet med det forslåtte nedstrippede alternativet.

Priser for Torgård sortert på poster er vist i tabell 6.2 og er hentet fra «Tilråding for nytt logistikknutepunkt i Trondheimsregionen» [21].

Post	Beløp [mNOK]
Strekningkostnader	3 298
Terminalkostnader	1 707
Veganlegg	603
Erhverv	749
Samlaste	109
Usikkerhet	228
Forventet kostnad P50	6 694

Tabell 6.2: Kostnad JBV Torgårdsterminalen

Det at det strekningskostnadene er så vidt mye høyere enn de øvrige postene, har å gjøre med at dette inkluderer ny bane i tunnell fra Heimdal til Søberg. Dette kan være en forutsetning for å nå de høyeste målene for godstrafikken, når dette kombineres med en økt frekvens på persontogene rundt Trondheim. Men det er likevel en utgiftspost som det bør fremheves politisk at ikke skyldes utbygging av godsterminalen alene. For øvrig er terminalkostnadene også det dobbelte av det som er estimert for «studentalternativet». Hva dette skyldes er vanskelig å si helt spesifikt uten å ha flere poster å bryte det ned på. En kvalifisert gjetning basert på [33] [21] peker i retning av litt ukritisk bruk av IC-byggekløssene til terminalformål, arealbruk som tar høyde for håndtering med reachstacker og utforming som gjennomkjøringsterminal.

Ellers fremstår det som vesentlig å redusere lengden på tilknytningsspor der disse ikke betjener noe annet enn terminalen.

Signalanlegg

En stor post både knyttet til størrelse og usikkerhet er signalanlegg. Her har det vært lite grunnlag og hente priser fra, ettersom ingen tilsvarende

anlegg er bygget ut i Norge. På Stavanger godsterminal Ganddal måtte anlegget som opprinnelig ble bygget rives på grunn av manglende godkjenning, og kostnaden for riving og oppbygging er satt til ca. 100 millioner kroner. Det er likevel sannsynlig at det i denne kostnaden ligger utstrakt gjenbruk av eksisterende signalarmatur og føringsveier. Utviklingen i Norge går nå også mot nye signalanlegg av typen ERTMS, som skal være felles for hele Europa, og i følge Jernbaneverkets plan for utrulling av ERTMS skal hele landet ha systemet innen 2030. [9] Per i dag finnes det ikke funksjonalitet i systemet som ivaretar skifting i den formen det gjøres på store godsterminaler, og i følge en rapport utarbeidet i 2013 gis systemet en «*readiness level*» på 2-3 av 10. Det konkluderes med at de løsningene som i dag foreligger innebærer en «*lavere sikkerhetsnivå sammenlignet med dagens skiftesignaler*» [31]. Så uansett hvilken løsning man velger, kan man få en situasjon der man

- (a) Bygger nytt konvensjonelt signal/sikringsanlegg med fysiske skiftesignaler, som må rives og byttes ut med ERTMS i 2030
- (b) Bygger ERTMS-løsning fra start, men der man må påregne oppstartsproblemer forbundet med et system under utvikling, og et potensielt lavere sikkerhetsnivå.
- (c) Et tredje alternativ kan være å ikke ha ERTMS inne på selve terminalen, men basere seg på et konvensjonelt system i hele perioden. En mulig utfordring da er tilgang til kompetanse og deler over tid, etterhvert som disse fases ut over det øvrige jernbanenettet.

Det er per 2016 fortsatt ikke rullet ut ERTMS på store banegårder eller stasjoner, og de første erfaringene kan først ventes rundt 2018 [31]

7. Diskusjon

I dette kapitlet drøftes resultatet fra litteraturstudiet, og sammenlignes med funnene fra egne analyser og beregninger.

Mange av dagens intermodale jernbaneterminaler er i praksis ombygde vognlastterminaler. Ombygningen er ofte gjort klattvis, for å tilpasse seg de gradvise endringene i transportmåten. Flere av disse ligger også i tilknytning til byens hovedstasjon, slik tilfellet er Trondheim og Bergen. Der binder de opp areal til byutvikling, og bedrifter og industri som driver arealkrevende virksom flyter i økende grad vekk fra sentrum i byene. Det er samtidig lite vognlasttrafikk igjen, og behovet for store skiftebanegårder er i praksis borte. På bakgrunn av dette er det mye som taler for å flytte godshåndteringen vekk fra dagens lokasjoner, og da fortrinnsvis så nær godskundene som mulig.

Jernbanens attraktivitet som transportform er nært knyttet opp til beliggenhet. At godsmengden kan øke med så mye som 30 % kun ved å opprette en ny terminal 12 km lenger sør, sier noe om hvor hårfin balansen mellom jernbane- og lastebiltransport er.

Prognosene som er utarbeidet for godstrafikken fremstår noe optimistiske, spesielt sett i lys av hvordan utviklingen har vært siden de første prognosene ble utarbeidet i 2010. Politisk er det også langt lettere å finansiere tiltak for vegtransporten, da disse i stor grad betales gjennom bompenger, samtidig som prisnivået tydeligvis i dag er på et nivå som gjør bransjen konkurransedyktig med jernbane. En innføring av kjørevegsavgift på jernbanen (altså i praksis en form for «bompenger») vil ifølge analysen i NGM føre til en relativt stor nedgang i trafikken, spesielt dersom man legger opp til et nivå der jernbanen skal betale alle sine korttidsmarginale kostnader.

Tiltak som ventelig vil forverre konkurranseforholdet i favør av bil er store investeringer i forbedre veistandard på E-6 og innfasingen av modulvogn-tog på hovedvegstrekingene. Tiltak som kan virke motsatt vei er en økning av effektiviteten på terminalene, og en overgang til lengre tog. Terminaltiltak omtales nærmere nedenfor, men hva angår lengre tog er det flere usikkerheter som må ryddes av veien først. Størst usikkerhet er trolig knyttet til en utvidelse til 750 m lange tog, altså EU-standard. Det vil kreve store investeringer i utvidet kryssingskapasitet i jernbanenettet, nye kobbeler¹ for å tåle økt togvekt, og svært kraftige lokomotiver. Etter forfatterens mening er derfor en utvikling mot tog med en lengde rundt 600 meter som er mest sannsynlig, og selv da vil det trolig måtte investeres i nye 6-akslede lokomotiver. I en trinnvis utbygging legges det derfor opp til håndtering av tog på 600 meter i trinn to, og 680 meter i trinn 3. Denne lengden ses på som det lengste som kan kjøres på dagens nett med ett lokomotiv. Det bør likevel avsettes areal til en mulig fremtidig utvidelse til 750 meter.

Terminalutforming

I litteraturen som er gjennomgått i forbindelse med oppgaven viser et overveldende flertall at terminaler der godset håndteres med kran både har høyere kapasitet og lavere kostnad per løftet enhet. I tillegg krever løsningen klart mindre areal enn en tilsvarende løsning med lastegater og midtstilt depot. Mye taler derfor for et konsept basert på kran, noe som også tillater en enkel økning av kapasiteten ved terminalen ved kun å øke antall kraner. Ulemper med kranløsning er at få norske operatører har erfaring med dette i dag, og at det er en risiko for at transporten lammes i større grad dersom man skulle få feil ved en kran. Driften kan da ikke gjøres med reachstacker på spor som ligger under kranen. Kraner er også dyrere i innkjøp, men denne utgiften spares inn i redusert areal.

Hva angår gjennomkjøringsterminal veid opp mot sekketerminal har dette ikke vært gjenstand for noen utførlig granskning i oppgaven. Men estimatet for de kostnader skifting utgjør ved en sekketerminal er såpass lavt, at

¹Koblingen mellom vogner

utgiftene ved en gjennomkjøringsterminal vanskelig lar seg regne hjem. En utfordring med en sekketerminal – og spesielt ved de løsninger som er forslått her – er likevel at hovedsporene ut fra terminalen blir belastet mye, og det kan bli en utfordring dersom togene kommer tett. Men så lenge terminalen er knyttet til et enkeltsporet nettverk, vil man som hovedregel få en avstand mellom tog som er tilstrekkelig til å skifte togstammene på plass mellom hver ankomst.

De skisserte utbyggingsløsningene er bevisst laget for å minimere kostnadene. Det er derfor lagt vekt på å bruke funnene som er gjort i oppgaven, ved å eksempelvis gjøre jernbanetilknnytning så kort som mulig, utnytte arealer som allerede eies av Jernbaneverket eller ROM eiendom, gjøre arealet så lite som mulig, og å unngå kostbare veiomlegginger. Dette gjør at en del elementer får en utforming som er «nest best», for eksempel veikryssinger i plan, liten hensettingsplass for lokomotiver, og at tyngre vedlikehold må gjøres andre steder. Det kan derfor ikke utelukkes at en videre detaljering av skissene kan medføre både at designet må endres, og at prisene som er regnet ut er for optimistiske. Prinsippene bak bør likevel være gyldige, og bør tas hensyn til ved utforming av nye terminaler.

Data fra driften på Brattøra

Dataene fra driften på Brattøra består av 2 sett. Det ene er innsamlet manuelt ved å overse driften, og ta tiden på de ulike operasjonene. Her er antallet målinger relativt lavt, men samtidig viser det seg at variansen innenfor hver operasjon er relativt lav. Det må likevel påpekes at antallet observasjoner er alt for lavt til å gi statistisk signifikante resultater.

Målingen av trafikken til og fra, er derimot basert på et stort datasett, som dekker perioden fra 1. mars til 25. mai. Settet inneholder over 35.000 registrerte bilankomster, og må anses representativt for perioden. Det må likevel tas høyde for at perioden er relativt kort, og dermed ikke påvirkes av eventuelle sesongvariasjoner. Delen av datasettet som angår plassering av containere er imidlertid beheftet med større usikkerhet. Her er ikke alle plasseringer registrert, slik at det er muligheter for systematiske rapporteringsfeil. Disse dataene er registrert manuelt av vekterne i port-kontrollen.

Kostnadsberegning

Resultatene fra kostnadsberegningen er ganske radikalt forskjellig fra Jernbaneverkets egne estimater. De har blitt kontrollert med Jernbaneverkets egne folk, og selv om flere har gitt uttrykk for at de er i laveste laget, så har ingen hevdet at de er direkte feil. Det må likevel regnes med store lokale variasjoner, da grunnarbeidet har forutsatt relativt vennlig terreng, og ikke har tatt med geotekniske arbeider. For jernbanetekniske arbeider og kranløsning er usikkerheten relativt lav, i det minste for innkjøpsprisen for selve materiellet. Den største usikkerheten i estimatet er tilknytning til eksisterende jernbane, samt signalanlegg. Per i dag finnes det fortsatt ikke noe godkjent, moderne sikringsanlegg beregnet for norske terminaler, slik at beløpet som er brukt er et svært «rundt» anslag basert på andre store ombygningsarbeider i Jernbaneverket.

Behovet for å se jernbanen som system

Et grunnleggende kjennetegn ved jernbanen er at den er et lukket system med et stort antall avhengigheter. Av denne grunn vil det være nødvendig å øke sporkapasiteten mellom terminal i Trondheim og et tilstrekkelig stykke sørover på nettet for å kunne håndtere den forventede veksten man dimensjonerer for i terminalutbyggingen. I første rekke er det pendeltogene rundt Trondheim som tar opp kapasitet, og dermed begrenser hvor mange godstog det er plass til. I tillegg er det forventet en betydelig vekst i passasjertrafikken på jernbanen i og rundt de store byene, som også vil tvinge frem investeringer i mer kapasitet. Som en følge av dette vil det følge store kostnader med å forsere trinnet som en utbygging fra ett til to spor, men nytten vil være betydelig også for persontrafikken. Det er derfor et behov for å synliggjøre at kostnadene ved en slik kapasitetsøkning ikke kan regnes under en godsterminal alene, samtidig som det er unødvendig å bygge kapasitetssterke terminaler om man ikke er villig til å ta de tilhørende investeringene i jernbanenettet.

8. Konklusjon

Godstransporten på jernbane befinner seg i en utfordrende situasjon, med dårlig lønnsomhet og sterk konkurranse fra vegtrafikk. I tillegg er punktligheten jevnt dårlig, det er store utfordringer med gammel infrastruktur og ineffektive terminaler.

Simuleringer som er gjort både i forbindelse med denne oppgaven og av andre viser likevel at det er potensiale for å frakte mye gods på bane, og at det kan være mulig å doble mengden de neste 25 årene. Det er likevel en lang rekke betingelser som må oppfylles for å få til dette, og det er for tiden flere faktorer som virker mot en slik utvikling. I oppgaven er virkningen av to konkrete tiltak analysert: Innføring av kjørevegsavgift, og bygging av en ekstra terminal i Trondheim. Innføring av en kjørevegsavgift som skal dekke marginalkostnader forbundet med slitasje på infrastrukturen gir i følge godsmodellen en nedgang i trafikken på 11 %. Bygging av en ny terminal i Heimdalsområdet (samtidig som dagens terminal på Brattøra beholdes), gir tilsvarende en vekst på 27 %.

Det er også gjort en vurdering av hva som kreves for å fase inn nye lengre tog. Konklusjonen ble et at det på mellomlang sikt ikke er sannsynlig med større tog lengder enn 600 meter, og trolig ikke mer enn 680 meter på lang sikt.

I undersøkelsen av driften på Brattøra fremgår det at terminalen i dag driftes godt innenfor de rammene man har. Tiden som medgår per løft er i dag rundt 2 minutter, og dette er tatt med videre inn i arbeidet med skisser for ny terminal.

Hva gjelder tiltak for å bygge kostnadseffektive godsterminaler, bekrefter litteraturstudiet at det er viktig at terminalene plasseres nær godskunder og kapasitetssterke vegsystemer for å gjøre transportkjeder med tog lønnsomme. I tillegg fremstår betjening med kran som det alternativet som gir lavest driftskostnader, så lenge antallet enheter som håndteres er over ca 200 enheter per dag. Nye terminaler kan bygges rimeligere enn det som er foreslått i Jernbaneverkets utredninger, men ikke uten å gå på kompromiss med fleksibiliteten og

utfordringer med tilgjengelighet for vedlikehold. De viktigste kostnadsdriverne er spor (og da spesielt ved lang tilknytning til hovedlinje), signalanlegg, eiendom og grunnarbeid.

En trinnvis opptrapping av kapasiteten i terminalen ser ut til å kunne gjøres uten store ulemper, dersom man planlegger for det tidlig. Da kan man fase inn en kranløsning gradvis, slik at man får erfaring med driften og har redundans før man går over til å basere seg på kran alene. En trinnvis utbygging gir også fordeler i form av at man kan se at utviklingen i teknologi og i jernbanenet- tet, før man eksempelvis utvider til 750 meter toglengthe, eller velger langsiktig løftekonsept.

Referanser

- [1] *GenesisKV – Business development for non-cranable semitrailers with innovative systems in combined transport*. http://www.log.tu-darmstadt.de/forschung_log/genesiskv_log.en.jsp. [Nettside; besøkt 25.02.2016].
- [2] *Skal få godstransporten på skinner*. <http://www.terramar.no/tema/skal-fa-godstransporten-pa-skinner/>. [Nettside; besøkt 12.03.2014].
- [3] *Gods fra vei til bane / utarbeidet for Cargonet AS*. Teknisk rapport 110, ECON Pöyry, 2007, ISBN 978-82-7645-934-0.
- [4] *Utredning – Etterprøving Ganddal Godsterminal*. teknisk rapport, 2012.
- [5] *Network Statement 2015*. teknisk rapport, Jernbaneverket, desember 2013.
- [6] Anderson, Kevin M og Michael C Walton: *Evaluating intermodal freight terminals: a framework for government participation*. teknisk rapport, Center for Transportation Research, Universty of Texas at Austin, 1998.
- [7] Askildsen, Thorkel C, Else Marie Marskar og Statens Vegvesen: *NTP GODSANALYSE - Delrapport 1: Kartlegging og problemforståelse*. teknisk rapport, 2015.
- [8] Avinor, Jernbaneverket, Kystverket og Statens vegvesen: *NTP Godsanalyse - Delrapport 2*. teknisk rapport, Samferdselsdepartementet, 2015.
- [9] Avinor, Jernbaneverket, Kystverket og Statens vegvesen: *Grunnlagsdokument Nasjonal transportplan 2018-2029*. teknisk rapport, Samferdselsdepartementet, februar 2016.
- [10] Ballis, Athanasios og John Golias: *Comparative evaluation of existing and innovative rail – road freight transport terminals*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 36(7), 2002.
- [11] Baumgartner, J.P.: *Prices and Costs in the Railway Sector*. École polytechnique fédérale de Lausanne, Institut des transports et de planification, 2001.

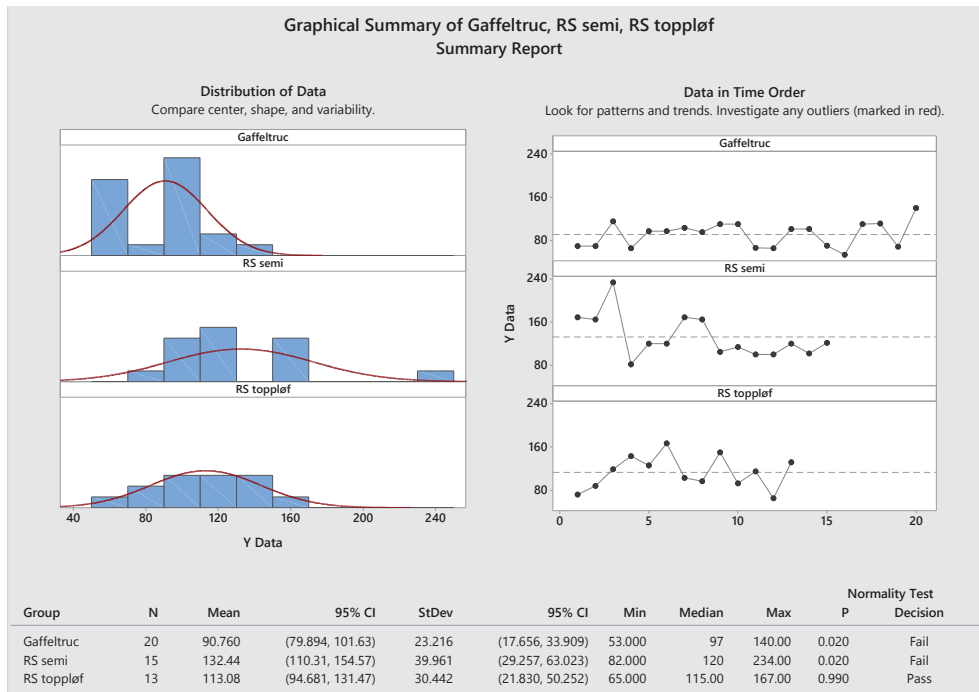
- [12] Cargo Beamer: *Information and press downloads*. <http://www.cargobeamer.eu/Downloads-849790.html>. [Nettside; besøkt 24. april 2016].
- [13] Det kongelige samferdselsdepartement: *Nasjonal transportplan 2014-2023*. [Oslo] : Departementenes servicesenter, 2013.
- [14] Doll, Nikolaus: *Warum die Lok gegen den Lkw keine Chance hat*. Die Welt, januar 2016. [Nettside, hentet 15.02.2016].
- [15] Drevland, Frode: *Kostnadsestimering under usikkerhet*. CONCEPT-programmet, NTNU, 2012, ISBN 978-82-93253-26-6.
- [16] Enger, Inger S. og Torild Skogsholm: *Skriftleg spørsmål fra Inger S. Enger (Sp) til samferdselsministeren*. <https://www.stortinget.no/nn/Saker-og-publikasjoner/Sporsmal/skriftlege-sporsmal-og-svar/Skriftlig-sporsmal/?qid=25521>. [Nettside; besøkt 12. mai 2016].
- [17] Erling Sæther: *Kombitrafikk med tog 2015 - nedgang på 1.8 prosent*. teknisk rapport, NHO Logistikk, 2015.
- [18] European Commision: *White Paper on Transport*. Brussels, 2011, ISBN 9789279182709.
- [19] Hanssen, Thor Erik Sandberg, Gisle Solvoll og Finn Jørgensen: *Næringslivets avstandskostnader : bedre kunnskapsgrunnlag*. Handelshøgskolen i Bodø, Senter for innovasjon og bedriftsøkonomi, 2007.
- [20] Jensen, Arne: *Kombinerade transporter i Sverige: System, ekonomi och strategier*. teknisk rapport, Transportforskningsberedningen, 1987.
- [21] Jernbaneverket: *Utredning – Nytt logistikknutepunkt Trondheimsregionen*. Teknisk rapport POU-00-A-00107, 2015.
- [22] Lowe, David: *13 - Intermodal Loading Units, Transfer Equipment and Satellite Communications*. I *Intermodal Freight Transport*, sider 166 – 179. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2005, ISBN 978-0-7506-5935-2.
- [23] Madslie, Anne, Christian Steinsland og Stein Erik Grønland: *Nasjonal godstransportmodell. En innføring i bruk av modellen*. TØI, 2015.

-
- [24] Markussen, Tom E og Konrad Pütz: *Jernbanens kjørevegsavgift*. Teknisk rapport 472A, Transportøkonomisk institutt, februar 2000.
- [25] Montana State University: *Resources*. <http://www.lib.montana.edu/resources/about/48>. [Nettside; besøkt 01. juni2016].
- [26] Multiconsult: *Alnabru utredning Fase 2 - Delrapport 12: Kapasitetsberegninger/-vurderinger*. teknisk rapport, Jernbaneverket Strategi Oslo og Akershus, desember 2015.
- [27] NHO Logistikk og Transport, CargoNet AS, Spekter, Norsk Industri: *Hurtig, punktlig og miljøvennlig - Nødvendige tiltak for å styrke godstogets konkurransekraft*, januar 2013.
- [28] Nocera, Silvio: *Terminalkapazität im Kombinierten Verkehr*. Internationales Verkehrswesen, 60:450–455, 2008.
- [29] Prince, Adriana Huelsz: *Capacity factors in intermodal road- rail terminals*, 2015.
- [30] Rail Cargo Logistics: *MOBILER: Innovation for your logistics*. http://www.railcargologistics.at/en/Our_services/MOBILER_Logistics/. [Nettside; besøkt 25. mai 2016].
- [31] Rambøll, Atkins, Emch+Berger og Parson: *Technological Maturity of ERTMS*. teknisk rapport, Dutch Ministry of Infrastructure and the Environment, 2013.
- [32] Selvig, E., G. Taarneby og J.E.W. Toutain: *Energiforbruk og utslipp til luft fra innenlandsk transport*. Teknisk rapport 48, Statistisk sentralbyrå, 2008.
- [33] Skjøstad, John Stephen, Vigdis Landheim, Arnt Ove Okstad, Raymond Siiri og Rolf Aarland: *Konseptvalgutredning nytt logistikknutepunkt Trondheimsregionen*. Teknisk rapport 02, Jernbaneverket, 2010.
- [34] SSB: *Innenlandske transportytelser 1965-2012*, 2012.
- [35] Stølen, Stein Inge: *Nå kan du kjøre modulvogntog fra Svinesund til Trondheim*. <http://www.lastebil.no/Aktuelt/Nyhetsarkiv/2016/Modulvogntog-fra-Svinesund-til-Trondheim>. [Nettside; besøkt 01. juni2016].

- [36] Vold, Arild og Viggo Jean-Hansen: *PINGO – A model for prediction of regional and interregional freight transport in Norway*. Teknisk rapport 899, Transportøkonomisk institutt, 2007.
- [37] World Cargo News: *Crane prices surge – Demand pull and supply push*. sider 44 – 46, 2005.
- [38] Woxenius, Johan: *Development of Small-Scale Intermodal Freight Transportation in a Systems Context*. Chalmers University of Technology, 1998, ISBN 91-7197-630-2.
- [39] Woxenius, Johan, Robert Sommar, Violeta Roso, Fredrik Bärthel og Kenth Lumsden: *Terminals as part of the Swedish transport system - An overview, Meddelande 119*. teknisk rapport, Chalmers University of Technology, Göteborg, 2003.

TILLEGG A

Tidsdata Brattøra



TILLEGG B

Oversikt over varegrupper

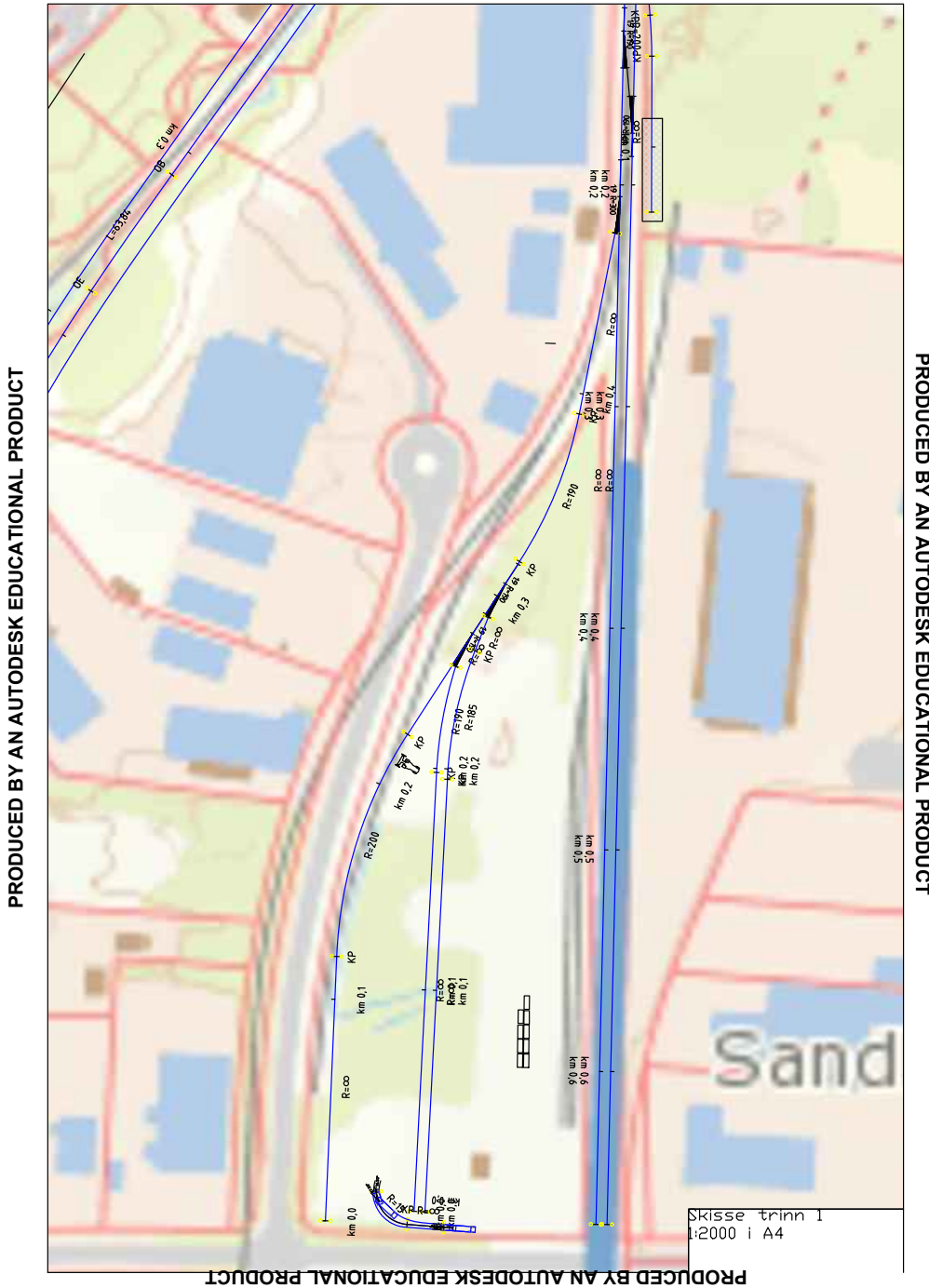
Hentet fra «Nasjonal godstransportmodell. En innføring i bruk av modellen»
Se referanseliste for detaljer

Nr	39 Varegrupper	Aggregert varegruppe
1	Jordbruksvarer	Tørrbulk
2	Frukt, grønt, blomster og planter	Termovarer
3	Levende dyr	Stykkogods
4	Innsatsvarer termo	Termovarer
5	Fersk fisk og sjømat	Fisk
6	Fryst fisk og sjømat	Fisk
7	Termovarer, konsum	Termovarer
8	Matvarer konsum	Stykkogods
9	Drikkevarer	Stykkogods
10	Dyrefôr	Tørrbulk
11	Organiske råvarer	Industrivarer
12	Andre råvarer	Industrivarer
13	Jern og stål	Industrivarer
14	Andre metaller	Industrivarer
15	Metallvarer	Industrivarer
16	Kjemiske produkter	Våtbulk
17	Plast og gummi	Industrivarer
18	Tømmer og produkter fra skogbruk	Tømmer
19	Trelast og trevarer	Stykkogods
20	Flis og tremasse	Industrivarer
21	Papir	Industrivarer
22	Trykksaker, programvarer og filmproduksjoner	Stykkogods
23	Kull, torv og malm	Tørrbulk
24	Stein, sand, grus, pukk, leire	Tørrbulk
25	Mineraler	Tørrbulk
26	Maskiner og verktøy	Industrivarer
27	Elektrisk utstyr	Industrivarer
28	Byggevarer	Stykkogods
29	Sement og betong	Tørrbulk
30	Forbruksvarer	Stykkogods
31	Høyverdivarer	Stykkogods
32	Transportmidler	Industrivarer
33	Petroleum uraffinert	Våtbulk
34	Naturgass	Våtbulk
35	Raffinerte petroleumsprodukter	Våtbulk
36	Bitumen	Våtbulk
37	Avfall og gjenvinning	Tørrbulk
38	Bearbeidet fisk	Fisk
39	Gjødsel	Tørrbulk

TILLEGG C

Skisse - Trinn 1

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

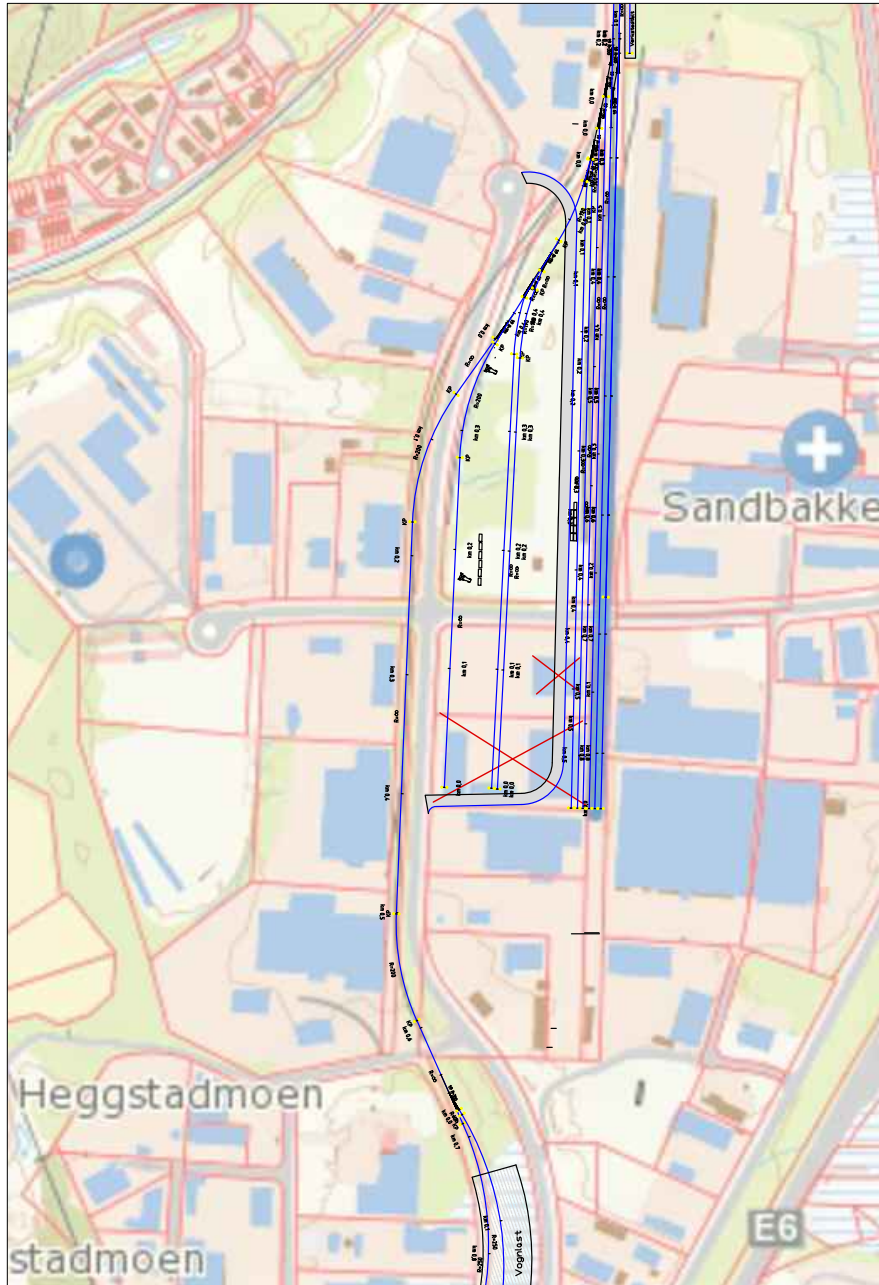


TILLEGG D

Skisse - Trinn 2

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

1:4000 | A4

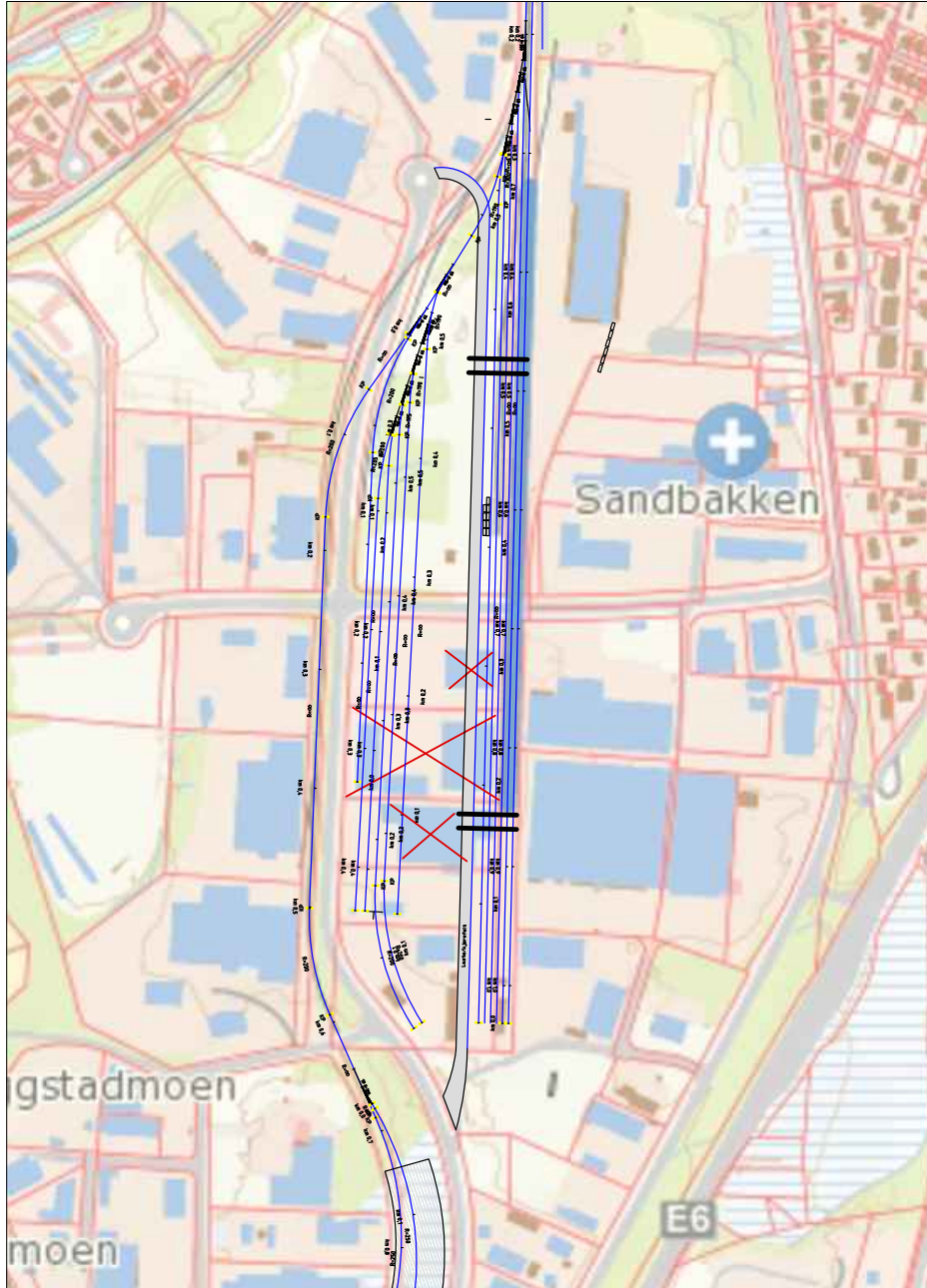
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

TILLEGG E

Skisse - Trinn 3

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

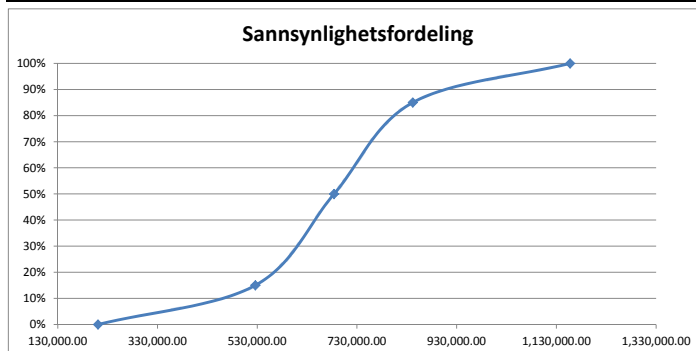
1:4000 | A4

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

TILLEGG F

Kostnadsberegning

Specification			Per unit					Part total		
			L. e.	M. l.	H. e.	Exp. Val.	St. dev.	Exp. Val.	St. dev.	Variance
No	Descript.	Unit	n	s	ø	E	σ	dE	dσ	dσ²
1	Grunnarbeid inkl dekke					0	0	78,488		
1.1	Areal	m2	95000	98000	105000	99667	4000		3150	9.92E+06
1.2	Kostnad	kNOK/m2	0.43	0.9	1.1	0.8	0.27		26711	7.13E+08
2	Sporarbeid					0	0	53,750		
2.1	Lengde	m	7000	7500	8000	7500	400		2867	8.22E+06
2.2	Kostnad	kNOK/m	5	8	9	7.2	2		12000	1.44E+08
3	KL-anlegg					0	0	36,102		
3.1	Lengde	m	3200	3400	3500	3358	120		1290	1.66E+06
3.2	Kostnad	kNOK/m	8	9.5	14	11	2		8060	6.50E+07
4	Nye veger					0	0	13,750		
4.1	Lengde	m	650	750	850	750	80		1466.667	2.15E+06
4.2	Kostnad	kNOK/m	7.2	12	32	18	10		7440	5.54E+07
5	Sporveksler					0	0	37,200		
5.1	Antall	m	14	16	18	16	2		3720	1.38E+07
5.2	Enhetskost	knok/s	2000	2200	2700	2325	280		4480	2.01E+07
6	Eiendomsinnløsning					0	0	95,514		
6.1	Antall	m	95000	98000	105000	99667	4000		3833.333	1.47E+07
6.2	Enhetskost	kNOK/m2	0.7	1	1.2	1	0.20		19933.33	3.97E+08
7	Signal					0	0	145,833		
7.1	Kostnad	knok/stk	100,000	125,000	200,000	145833	40000.00		145833	2.13E+10
8	2 portalkraner					0	0	89,333		
9.1	Kostnad	knok/stk	40,000	43,000	50,000	44667	4000.00		44667	2.00E+09
9	Belysning, gjerdet					0	0	12,417		
9.1	Kostnad	RS	10,000	12,000	15,000	12417	2000.00		12417	1.54E+08
10	Terminalbygg, port					0	0	6,417		
10.1	Kostnad	knok/stk	5,000	6,000	8,000	6417	1200.00		6417	4.12E+07
Delsum								568803		
Påslag								Effekt		
1	Byggherre		1.17	1.18	1.19	1.2	0.0		18%	
2	Rigg/drift		1.13	1.14	1.17	1.1	0.0		15%	
3	Prisstigning		1.01	1.04	1.1	1.1	0.0		5%	
Totalt estimat								684,143.90	157808	2.49E+10



Referanseprosjekter lasteområde:

År	Areal	Kost	Enhetskost	Indeksverdi	Justert verdi	Kommentar
1. Flyoppstillingsområde, Torp Lufthavn						
2002	35		15000	428.5714286	95	721.8045113
2. Terminalområde Linjegods Narvik						
2001	17.8	6000		337.0786517	94	573.7508965
3. Flyoppstilling og taxebane, Flesland						
2008	140	150000		1071.428571	127	1349.831271 Omfattende sprengning og masseflytting
4. Sola, rullebanearbeider						
2005	33	30000		909.0909091	106	1372.212693

Referanseprosjekter spor (hentet fra kostnadsestimater, ikke faktiske prosjekt)

År	Enhetskost (LM)	Indeksverdi	Justert verdi	Kommentar
1. Ny Leangen stasjon				
2009	5000	128	6250	Uten KL
2. Larvik stasjon				
2016	10000	158	10126.58228	Skinn/svillebytte Larvik

Referanse KL

År	Enhetskost (LM)	Indeksverdi	Justert verdi	Kommentar
1. Elektrifisering Trønderbanen				
2015	14000	155	14451.6129	
2. KL-fornyng jærbanen				
2015	9400	145	10372.41379	
3. Optimistisk anslag	8000	155	8258.064516	

Referanse veg

År	Enhetskost (LM)	Indeksverdi	Justert verdi	Kommentar
1. Statens Vegvesen (2-feltsveg				
2014	50000	155	51612.90323	
2. RV3 rita bru-skjærødden				
2012	29000	145	32000	

Påslag byggherrekost

År	Påslag (%)	Indeksverdi	Justert verdi	Kommentar
1				
1. Ny Leangen stasjon		15		

Påslag rigg/drift

År	Påslag (%)	Indeksverdi	Justert verdi	Kommentar
1				
1. Ny Leangen stasjon		17		

Innløsning av areal

År	Enhetskost (M2)	Indeksverdi	Justert verdi	Kommentar
1. 313/640, Torgård		530		
2. 311/30		1060		
		240		

TILLEGG G

Beregning togvekter

Inngangsparametere:

$$\text{Spesifikk rullestand: } w_o := 2,2 \cdot 3 \cdot \left(\frac{80}{100}\right)^2 \cdot 0,1\% = 0,422\%$$

$$\text{Stigningsmotstand: } w_s := 1,8\%$$

$$m_{\text{vogn}} := 80\text{t} \quad \text{antall} := 17 \quad \text{TEU} := \text{antall} \cdot 4 = 68$$

$$\text{totvekt} := m_{\text{vogn}} \cdot \text{antall} = 1,36 \times 10^3 \cdot \text{t}$$

$$l_{\text{vogn}} := 34\text{m}$$

$$L_{\text{tot}} := l_{\text{vogn}} \cdot \text{antall} = 578\text{m}$$

Nødvendig trekkraft:

$$P_{\text{tot}} := \text{totvekt} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad m_{\text{lok}} := 1230\text{kN} \quad \mu := 0,25 \quad n_{\text{lok}} := 1$$

Nødvendig trekkraft:

$$F := (w_o + w_s) \cdot P_{\text{tot}} = 296,50372 \cdot \text{kN}$$

$$F_{\text{netto}} := \mu \cdot m_{\text{lok}} = 307,5 \cdot \text{kN}$$

Kraft tilgjengelig:

$$F_{\text{tot}} := F_{\text{netto}} \cdot n_{\text{lok}} = 307,5 \cdot \text{kN}$$

Typiske friksjonstall:

Tørr og ren: 0.3

Våt og ren: 0.18-0.20

Våt med sand: 0.22-0.25

Lett snø: 0.1

Lett snø med sand: 0.15

Vått løv: 0.07

Inngangsparametere:

Spesifikk rullestand: $w_o := 2.2 \cdot 3 \cdot \left(\frac{80}{100}\right)^2 \cdot 0.1\% = 0.422\%$

Stigningsmotstand: $w_s := 1.8\%$

$m_{\text{vogn}} := 80\text{t}$ $\text{antall} := 17$ $\text{TEU} := \text{antall} \cdot 4 = 68$

$\text{totvekt} := m_{\text{vogn}} \cdot \text{antall} = 1.36 \times 10^3 \cdot \text{t}$

$l_{\text{vogn}} := 34\text{m}$

$L_{\text{tot}} := l_{\text{vogn}} \cdot \text{antall} = 578\text{m}$

Nødvendig trekkraft:

$P_{\text{tot}} := \text{totvekt} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ $m_{\text{lok}} := 1230\text{kN}$ $\mu := 0.25$ $n_{\text{lok}} := 1$

Nødvendig trekkraft:

$F := (w_o + w_s) \cdot P_{\text{tot}} = 296.50372 \cdot \text{kN}$

$F_{\text{netto}} := \mu \cdot m_{\text{lok}} = 307.5 \cdot \text{kN}$

Kraft tilgjengelig:

$F_{\text{tot}} := F_{\text{netto}} \cdot n_{\text{lok}} = 307.5 \cdot \text{kN}$

Typiske friksjonstall:

Tørr og ren: 0.3

Våt og ren: 0.18-0.20

Våt med sand: 0.22-0.25

Lett snø: 0.1

Lett snø med sand: 0.15

Vått løv: 0.07