



# Operasjonell analyse av Nygårdstangen godsterminal

*En inngående beskrivelse av terminalens ytelse, med fokus på  
operasjonelle måltall*

**Linn Kristin Espedal & Tomas Hallaråker**

**Veileder: Endre Bjørndal**

Masteroppgave i Økonomi og Administrasjon

Hovedprofil: Økonomisk styring (BUS)

NORGES HANDELSHØYSKOLE

Dette selvstendige arbeidet er gjennomført som ledd i masterstudiet i økonomi- og administrasjon ved Norges Handelshøyskole og godkjent som sådan. Godkjenningen innebærer ikke at Høyskolen eller sensorer innestår for de metoder som er anvendt, resultater som er fremkommet eller konklusjoner som er trukket i arbeidet.

## Sammendrag

Formålet med denne utredningen er å gi en god og detaljert innsikt i Nygårdstangen godsterminal, hvor fokuset er på operasjonell ytelse. Motivasjonen har hele tiden vært å kartlegge den reelle makskapasiteten på Nygårdstangen, og undersøke hvorvidt det er mulig å effektivisere systemet uten å investere i økt kapasitet på jernbanesporene.

Gjennom RailCombi, som er én av to terminaloperatører på Nygårdstangen, har vi fått mulighet til å innhente primærdata på de operasjonelle aktivitetene, noe som har gjort oss i stand til å utvikle en simuleringsmodell av terminalen. Vi analyserer derfor terminalens ytelse, hvor vi også eksperimenterer med systemet for å øke presset på ressursene.

Systemet består av ressurser knyttet til behandling av tog, samt ressurser knyttet til håndtering av lastebiler. I analysen finner vi at det er ressursene knyttet til togene som er de største flaskehalsene i systemet, og at det ikke er mulig å effektivisere systemet uten å endre ruteplanen. Det er derimot mulig å effektivisere håndteringen av lastebiler, hvor vi finner at RailCombi kan redusere håndteringsressursene, men fortsatt tilby lastebilene en tilfredsstillende service. Vi ser også at Green Cargo kan tilby lastebilene en bedre service, dersom de erstatter trucken med en ekstra reachstacker.

Videre avdekker analysen at ankomstratene til lastebilene påvirker containervolumet som fraktes mellom Alnabru og Bergen. Her viser resultatene at en høy ankomstrate er fordelaktig for systemet med hensyn til containervolum, men at servicetidene til lastebiler som skal hente containere samtidig påvirkes negativt. Vi ser at en løsning kan være å ha høye ankomstrater på lastebiler som skal levere containere, og lavere ankomstrater på lastebiler som skal hente containere. Dette fordi togene ankommer hyppig og med korte mellomrom, hvilket skaper et høyt press på håndteringsutstyret i forbindelse med henting av containere.

## Forord

Denne masteroppgaven er skrevet som en del av masterstudiet i økonomi og administrasjon ved Norges Handelshøyskole. Oppgaven er skrevet innenfor hovedprofilen økonomisk styring, og tilsvarer 30 studiepoeng.

Arbeidet med oppgaven har vært spennende, men også utfordrende og omfattende. Spennende fordi vi ser at simulering er et godt verktøy for å analysere ytelsen til en terminal, men utfordrende fordi det er en stor mengde data som må samles inn korrekt. I tillegg har utviklingen av modellen vært mer tidkrevende enn vi forutså. Likevel er vi fornøyd med resultatet, og vi har definitivt opparbeidet oss mer kunnskap innenfor det operasjonelle fagfeltet.

Vi vil rette en spesielt stor takk til Kjell Nilsen og Vidar Veka ved RailCombi, for at de har gitt oss tilgang og mulighet til å drive strukturert observasjon av de forskjellige operasjonene, og fordi de har svart detaljert på våre utallige forespørsler. I tillegg vil vi takke Fredrik Fegri ved Green Cargo terminaltjenester. En stor takk går også til alle de blide og hyggelige ansatte på terminalen, som har fattet stor interesse for prosjektet vårt, og bidratt med mye nyttig informasjon.

Til slutt vil vi takke vår fantastiske veileder Endre Bjørndal, som har svart på spørsmål til alle døgnets tider, og bidratt stort i forbindelse med utvikling av modellen og presentasjon av datamaterialet. Denne oppgaven hadde ikke blitt like bra uten deg!

---

# Innholdsfortegnelse

## Innholdsfortegnelse

<b>Sammendrag</b>	<b>2</b>
<b>Forord</b>	<b>3</b>
<b>Innholdsfortegnelse</b>	<b>4</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>13</b>
1.1 <i>Bakgrunn for oppgaven</i>	13
1.2 <i>Bakgrunn for valg av tema</i>	14
<b>2. Beskrivelse av forskningsobjekt</b>	<b>16</b>
2.1 <i>Beskrivelse av dagens situasjon (Nygårdstangen og Dokken)</i>	16
2.1.1 Aktører på Nygårdstangen	18
2.2 <i>Terminalens ressurser</i>	20
2.2.1 Lastespor	20
2.2.2 Depot	21
2.2.3 Håndteringsutstyr	23
2.3 <i>Karakteristika ved togene</i>	25
2.3.1 Ruteplan	25
2.3.2 Godstog	27
2.3.3 Lastenheter	29
2.4 <i>Prosessbeskrivelse</i>	32
2.4.1 Ankomst	34
2.4.2 Lossing	35
2.4.3 Lasting	35
2.4.4 Kontroll	36
2.4.5 Avgang	36
<b>3. Teori</b>	<b>37</b>
3.1 <i>Operasjonelle måltall knyttet til servicesystemer</i>	37
3.1.1 Gjennomløpstid (T)	38
3.1.2 Gjennomstrømningsrate (R)	38
3.1.3 Lager (I)	40
3.2 <i>Variabilitet</i>	41
3.2.1 Variabilitet i ankomstrate	41

---

3.2.2	Variabilitet i prosesseringstider	42
3.2.3	Kølengthe-formelen	43
3.3	<i>Tidligere forskning</i>	44
3.3.1	Innledning	44
3.3.2	Hovedmomenter	45
<b>4.</b>	<b>Metode</b>	<b>49</b>
4.1	<i>Problemstilling</i>	49
4.2	<i>Forskningsdesign</i>	51
4.3	<i>Datainnsamling</i>	52
4.3.1	Kvalitativ metode	53
4.3.2	Kvantitativ metode	54
4.4	<i>Databehandling</i>	59
4.5	<i>Validitet og reliabilitet</i>	59
4.5.1	Validitet	59
4.5.2	Reliabilitet	61
<b>5.</b>	<b>Beskrivelse av modell</b>	<b>64</b>
5.1	<i>Ankomst</i>	64
5.1.1	Generering av tog	64
5.1.2	Inngående containervolum	66
5.1.3	Sporvalg og skifting	68
5.2	<i>Lossing</i>	69
5.2.1	Tognummer 5501	70
5.2.2	Tognummer 5511	71
5.2.3	Tognummer 5519	72
5.2.4	Tognummer 5515	73
5.2.5	Tognummer 5505	74
5.2.6	Tognummer 5507	75
5.2.7	Green Cargo	76
5.3	<i>Håndtering av containere</i>	76
5.3.1	Reachstacker	76
5.3.2	Truck	78
5.3.3	Depot	78
5.4	<i>Lasting</i>	79
5.4.1	Lastebilers ankomst	79

---

5.4.2	Utgående containervolum	81
5.5	<i>Avgang</i>	83
5.5.1	Holde igjen togene til avgangstidspunkt	83
5.5.2	Skifting før avgang	83
5.6	<i>Avgrensninger</i>	83
5.6.1	Terminaltraktor	83
5.6.2	Kjøring reachstacker og truck	84
5.6.3	Booking	84
5.6.4	Hensetting på Mindemyren	85
5.6.5	Biltog	85
5.6.6	Ekstreme avvik fra ruteplan	86
5.6.7	Spor 9 tilgjengelig for begge operatører	86
5.6.8	Green Cargo-tog	87
5.6.9	Depot	87
5.6.10	Kontroll	88
5.7	<i>Validering av modell</i>	88
5.7.1	Ankomst, snutid og avgang	88
5.7.2	Containernivå	89
5.7.3	Lastebiler	91
5.7.4	Depot	93
5.7.5	Oppsummering	94
<b>6.</b>	<b>Analyse</b>	<b>95</b>
6.1	<i>Base case</i>	95
6.1.1	Containervolum	95
6.1.2	Nøkkeltall for tog	97
6.1.3	Nøkkeltall for lastebiler	101
6.2	<i>Maks-case</i>	106
6.2.1	Nytt containervolum	106
6.2.2	Effekt på togenes gjennomløpstid og tilknyttede ressurser	107
6.2.3	Effekt på lastebilenes gjennomløpstid og tilknyttede ressurser	107
6.3	<i>Eksperiment</i>	112
6.3.1	Variere ressurser	112
6.3.2	Øke lastebilenes ankomstrate	121
6.3.3	Redusert variabilitet i lastebilers ankomst	125

---

<b>7. Diskusjon av funn</b>	<b>130</b>
7.1 Konklusjon	132
7.2 Videre forskning	132
<b>Litteraturliste</b>	<b>134</b>
<b>8. Modell aGPSS</b>	<b>137</b>

Figur 1 – Vurderte konsepter (Jernbaneverket, 2015) .....	13
Figur 2 - Oversiktsbilde havneområde og jernbaneterminal (Finsveen et al., 2016).....	16
Figur 3 - Oversiktsbilde over Nygårdstangen ( Norphoto, 2017).....	17
Figur 4 - Dagens områder for godshåndtering med jernbane i Bergen (Bergen kommune, 2016) .....	18
Figur 5 - Bygg på terminalen i dag (Bergen kommune, 2016).....	19
Figur 6 - Sporplan Nygårdstangen (Banenor, 2017a).....	20
Figur 7 - Oversikt over depot Nygårdstangen.....	22
Figur 8 – Skiftelokomotiv .....	23
Figur 9 - Truck .....	24
Figur 10 - Reachstacker .....	24
Figur 11 - Kombitog RailCombi.....	28
Figur 12 – Stålcontainer.....	30
Figur 13 – Skapcontainer .....	31
Figur 14 – Semivogn.....	32

---

Figur 15 – Prosesskart Nygårdstangen .....	33
Figur 16 - Throughput delay curve (Anupindi, 2014, s.224).....	43
Figur 17 - Typical four crane phases of crane work (Ballis & Golias, 2002).....	48
Figur 18 - Avvik fra ruteplan .....	65
Figur 19 - Avvik fra ruteplan justert.....	66
Figur 20 - Inngående containerantall .....	68
Figur 21 – Skifting.....	69
Figur 22 - Sammenligning med fordelinger 5501.....	70
<i>Figur 23 - Datasett tognummer 5501. ....</i>	<i>70</i>
Figur 24 - Sammenligning med fordelinger 5511.....	71
Figur 25 - Datasett tognummer 5511 .....	71
Figur 26 - Sammenligning med fordelinger 5519.....	72
Figur 27 - Datasett tognummer 5519 .....	72
Figur 28 - Sammenligning med fordelinger 5515.....	73
Figur 29 - Datasett tognummer 5515 .....	73
Figur 30 - Datasett tognummer 5505 .....	74
Figur 31 - Sammenligning med fordelinger 5505.....	74
Figur 32 - Sammenligning med fordelinger 5507.....	75
Figur 33 - Datasett tognummer 5507 .....	75
Figur 34 - Sammenligning med fordelinger reachstacker.....	76
Figur 35 - Sammenligning med fordelinger depot/lastebil.....	77



---

Figur 36 - Sammenligning med fordelinger tog/depot .....	77
Figur 37 - Sammenligning med fordelinger tog/lastebil.....	77
Figur 38 - sammenligning med fordelinger tog/depot .....	78
Figur 39 - Sammenligning med fordelinger depot/lastebil.....	78
Figur 40 - Sammenligning med fordelinger tog/lastebil.....	78
Figur 41 - Datasett lastebiler levering.....	80
Figur 42 - Observasjoner over 500 minutter.....	80
Figur 43 - Observasjoner under 500 minutter.....	80
Figur 44 - Utgående containerantall .....	82
Figur 45 - Lastebiler henting RailCombi.....	92
Figur 46 - Lastebiler levering RailCombi.....	92
Figur 47 - Lastebiler levering datasett .....	93
Figur 48 - Lossedepot Green Cargo.....	93
Figur 49 - Lossedepot RailCombi.....	93
Figur 50 - Gjennomløpstid lastebiler henting RailCombi.....	108
Figur 51 - Gjennomløpstid lastebiler henting Green Cargo.....	108
Figur 52 - Gjennomløpstid lastebiler levering RailCombi .....	109
Figur 53 - Gjennomløpstid lastebiler henting Green Cargo.....	110
Figur 54 - Kapasitetsutnyttelse håndteringsressurser RailCombi.....	111
Figur 55 - Kapasitetsutnyttelse håndteringsutstyr Green Cargo .....	111
Figur 56 - Reduksjon av lastespor RailCombi.....	113

---

Figur 57 - Uten hensettingsspor RailCombi .....	114
Figur 58 - Antall enheter i truck hos RailCombi .....	115
Figur 59 - Kapasitetsutnyttelse håndteringsressurser uten truck RailCombi.....	116
Figur 60 - Antall enheter i reachstacker hos RailCombi.....	117
Figur 61 - Kapasitetsutnyttelse håndteringsressurser uten truck og reduksjon i reachstacker RailCombi.....	118
Figur 62 - kapasitetsutnyttelse håndteringsressurser reduksjon i terminalarbeidere RailCombi .....	119
Tabell 1 - Sporlengder Nygårdstangen godsterminal .....	20
Tabell 2 - Gjeldende ruteplan for Nygårdstangen.....	25
Tabell 3 - Snutider .....	26
Tabell 4 - Toglengder med tilhørende kapasitet .....	28
Tabell 5 - Toglengder med tilhørende kapasitet .....	29
Tabell 6 – Ressursene til de ulike flytenhetene på Nygårdstangen .....	37
Tabell 7 - Klassifisering av variabilitet.....	42
Tabell 8 - Klassifisering av variabilitet.....	42
Tabell 9 - Antall observasjoner av håndtering.....	56
Tabell 10 - Punktlighetsdata .....	65
Tabell 11 - Inngående containervolum .....	66
Tabell 12 - Observasjoner av lastebiler ankomst tognummer 5501 .....	70
Tabell 13 - Observasjoner av lastebilers ankomst tognummer 5511 .....	71

---

Tabell 14 - Observasjoner av lastebilers ankomst tognummer 5519 .....	72
Tabell 15 - Observasjoner av lastebilers ankomst tognummer 5515 .....	73
Tabell 16 - Observasjoner av lastebilers ankomst tognummer 5505 .....	74
Tabell 17 - Observasjoner av lastebilers ankomst tognummer 5507 .....	75
Tabell 18 - Data på håndteringstider reachstacker .....	77
Tabell 19 - Data på håndteringstider truck .....	78
Tabell 20 - Observasjoner lastebilers ankomst levering .....	81
Tabell 21 - Utgående containervolum .....	81
Tabell 22 – Containernivå hentet .....	89
Tabell 23 - Containernivå i depot .....	90
Tabell 24 - Containernivå lastet .....	91
Tabell 25 - Årlig containervolum basert på base-case .....	96
Tabell 26 - Gjennomløpstid tog .....	98
Tabell 27 - Gjennomstrømningsrate tog RailCombi .....	99
Tabell 28 - Gjennomstrømningsrate tog Green Cargo .....	100
Tabell 29 - Gjennomløpstid lastebil henting .....	102
Tabell 30 - Gjennomløpstid lastebiler levering RailCombi .....	103
Tabell 31 - Gjennomløpstid lastebiler levering Green Cargo .....	103
Tabell 32 - Gjennomstrømningsrate lastebil RailCombi .....	104
Tabell 33 - Gjennomstrømningsrate lastebil Green Cargo .....	105
Tabell 34 - Endringer i ventetid uten truck hos RailCombi .....	116

---

Tabell 35 - Endringer i ventetid uten truck og reduksjon i reachstacker hos RailCombi.....	117
Tabell 36 - Endringer i ventetid uten truck og reduksjon i terminalansatte hos RailCombi	119
Tabell 37 - Tabell 36 - Endringer i ventetid uten truck og økning i reachstacker Green Cargo .....	120
Tabell 38 - Endringer i ventetid lastebil .....	122
Tabell 39 - Endringer i ventetid lastebil .....	123
Tabell 40 - Endringer i ventetid lastebil .....	124
Tabell 41 - Lastebiler henting med Erlang 1-fordeling .....	125
Tabell 42 - Lastebiler henting med Erlang 5-fordeling .....	126
Tabell 43 - Lastebiler levering med Erlang fordeling.....	127
Tabell 44 - Endringer i ventetid lastebiler .....	128
Tabell 45 - Endringer ventetid lastbiler .....	129

# 1. Innledning

## 1.1 Bakgrunn for oppgaven

Jernbaneverket har på oppdrag fra Samferdselsdepartementet, de siste to årene utarbeidet en KVVU (konseptvalgutredning) for logistikknutepunkt i Bergensregionen frem mot 2050, som omfatter konsepter for gods på vei, jernbane og sjø. Behovet og samfunnsmålet for dette prosjektet er formulert som følger:

*“Bergensregionen er i sterk vekst. Dagens terminaler i Bergen har begrensede arealer og begrenset kapasitet til å håndtere langsiktig vekst i godstransport. Terminalene båndlegger sentrale arealer for byutvikling i Bergen. For å håndtere fremtidig vekst i godstransport er det behov for et logistikknutepunkt med tilstrekkelig kapasitet, som bidrar til bærekraftig areal- og transportutvikling i Bergensregionen” (Jernbaneverket, 2015).*

	Konsept	Alternativ
	0-alternativet	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dokken og Nygårdstangen</li> </ul>
<b>1</b>	Moderniseringskonseptet	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dokken og Nygårdstangen</li> </ul>
<b>2</b>	Samlet konsept	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sletten</li> <li>Dryport på Ådland kombinert med Lønningshavn</li> </ul>
<b>3</b>	Delt konsept: Jernbaneterminal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Arnadalen (Espeland og Unneland)</li> <li>Rådal</li> <li>Haukås</li> </ul>
	Delt konsept: Havn	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dokken</li> <li>Sletten</li> <li>Ågotnes</li> </ul>

Figur 1 – Vurderte konsepter (Jernbaneverket, 2015)

Ved hjelp av en tre-trinns silingsprosess, og ved å sammenligne de samfunnsøkonomiske vurderingene samt grad av måloppnåelse ved de ulike konseptene og alternativene, har Jernbaneverket (2015) anbefalt et delt konsept for havn og jernbaneterminal. Deres vurdering er at havneterminalen på Dokken bør videreutvikles, slik at kapasiteten kan økes på kort og lang sikt, og at jernbaneterminalen bør flyttes ut av sentrum til henholdsvis *Rådal* eller *Unneland*.

På oppdrag fra Finansdepartementet, gjennomførte Dovre Group (Finsveen et al., 2016) en ekstern kvalitetssikring (KS1) av konseptvalgutredningen. I denne rapporten ble det vurdert tre ulike (mulige) underliggende behov med hensyn til lokalisering av havn og

jernbaneterminal: behov for kapasitet, behov for effektiv omlasting av gods mellom havn og jernbane, samt behov for byutvikling. Av rapporten fremgår det at havnekapasiteten beregnes som tilstrekkelig frem mot 2040. I tillegg peker rapporten på at det er lite gods som går mellom havn og jernbane i dag, og at behovet for økt kapasitet blir vurdert å være mest prekært på jernbaneterminalen.

Ifølge Dovre Group (Finsveen et al., 2016) rapporten har Nygårdstangen godsterminal en kapasitet til å håndtere en godsmengde på ca. 145 000 TEU<sup>1</sup> per år. Rapporten peker også på at behovet for en økning i kapasitet er godt dokumentert. Det fremkommer videre at Jernbaneverkets prognoser frem mot år 2050 er basert på Statistisk Sentralbyrås høyeste befolkningsprognose, 20 % forbruksvekst, og en jernbaneandel på 90%. Denne prognosen poengteres å være urealistisk høy, hvilket medfører at levetiden for moderniseringsalternativet (utvide kapasiteten på Nygårdstangen) blir for kort, og at behovet for investering i ny terminalkapasitet kommer for tidlig. I konseptvalgutredningen understrekes det at dagens lokalisering av jernbaneterminalen på Nygårdstangen er i sterk konflikt med byutviklingsinteresser. Rapporten fra Dovre Group (Finsveen et al., 2016) konkluderer imidlertid med at det er behovet for terminalkapasitet som er det primære og prosjektutløsende, mens byutviklingen blir av mer sekundær karakter. Som følge av dette har Regjeringen programfestet i *Godstrategi for 2016-2029* at de ønsker å gå videre med moderniseringsalternativet (Jernbaneverket, 2016).

## 1.2 Bakgrunn for valg av tema

Opprinnelsen for valg av tema oppstod da faglærer i BUS432 Simulation of Business Processes høsten 2016, Endre Bjørndal, presenterte et forslag til en prosjektoppgave på oppdrag fra Lars Mjøs, industrikonsulent på Osterøy, i samarbeid med Aksel Mjøs, finansforsker ved NHH. Lars og Aksel ønsket å se på en løsning for ny jernbaneterminal for gods i Bergen, hvor selve terminalfunksjonen (laste/losse) plasseres i tunnel. Ideen var å lage et mer effektivt system, hvor man brukte prinsipper fra Just-In-Time i kombinasjon med automatiserte kranløsninger.

---

<sup>1</sup> TEU: Twenty-foot equivalent unit. Er en volumbasert størrelsesangivelse for godsmengder. 1 TEU tilsvarer én 20-fots container. (Trondheim Havn, 2013)

Vi synes prosjektet virket interessant, og tok derfor kontakt med Lars og Aksel. På det påfølgende sonderingsmøtet ble vi enige om at det ville være viktig å kartlegge flyten av containere på Nygårdstangen, for å få kjennskap til prosessen samt kapasiteten en godsterminal i tunnel måtte ha.

Det var under disse forstudiene, og i kontakten med terminalen, at vi fattet større interesse for å gjøre en empirisk og grundig utredning av kapasiteten til Nygårdstangen godsterminal. Dette kom på bakgrunn av to forhold: våre forstudier indikerte at Nygårdstangen kunne ha en høyere kapasitetsgrense enn konseptvalgutredningens estimater på 145-150 000 TEU pr år, og rapporten fra Dovre Group (Finsveen et al., 2016) påpekte at kilder som dokumenter og informasjon fra intervjuer, har gitt andre tall, og at de derfor finner anslagene noe usikre. Rapporten finner heller ingen beregninger for grunnlag av den faktiske kapasitetsgrensen på terminalen. Det fremkommer både i konseptvalgutredningen og gjennom intervjuene foretatt av Dovre Group at det spesielt er mangel på spor, herunder hensettingsspor og lastespor, som er den viktigste kapasitetsbeskrankningen på dagens terminal. (Finsveen et al., 2016)

Mangel på hensettingsspor og lastespor var funn vi selv fikk i forstudien, men som vi fant skyldes utformingen av ruteplanen. Problemet var at vi var usikre på hvor realistisk modellen vår var. Dette fordi modellen var bygget på data som var innhentet gjennom to dybdeintervjuer, samt en rekke antagelser og forenklinger. På bakgrunn av dette ønsket vi derfor å utvikle en ny modell, hvor motivasjonen var å øke realismen i modellen. På den måten kunne vi undersøke den faktiske kapasitetsgrensen terminalen på bakgrunn av empiriske undersøkelser.

## 2. Beskrivelse av forskningsobjekt

### 2.1 Beskrivelse av dagens situasjon (Nygårdstangen og Dokken)

Dagens løsning i Bergen er et delt konsept med jernbaneterminal på Nygårdstangen, og havneterminal på Dokken, som begge er lokalisert i Bergen Sentrum. Det finnes også en godsterminal på Mindemyren, som utelukkende håndterer lossing/lasting av bilvogner.



Figur 2 - Oversiktsbilde havneområde og jernbaneterminal (Finsveen et al., 2016)

I gjennomsnitt transporteres 40 % av godset i Norge på bane. På strekningen Oslo-Bergen har jernbanen en markedsandel på 60-70% på enkelt-leveranser, og er dermed den viktigste transportbæreren inn/ut av Bergen. (NHO logistikk og transport, 2014) Hovedtypen av gods som fraktes med tog er containere, og det samlede godsvolumet til og fra Nygårdstangen i 2014 var på 137 000 TEU. (Finsveen et. al., 2016).





*Figur 3 - Oversiktsbilde over Nygårdstangen ( Norphoto, 2017)*

Godsterminalen på Nygårdstangen er Norges nest største godsterminal målt i fraktet volum, og er Bergensregionens største knutepunkt for håndtering av tonnasje og antall forsendelser. I 1997 ble terminalen bygd om til kombiterminal for intermodale transporter: en terminal hvor lasteenheter som containere, vekselsbeholdere og semivogner overføres mellom tog og bil (Bergen Kommune, 2016). Arealet på tomten er på 90 dekar, og kapasitetsgrensen antas å være i størrelsesorden 145-150 000 TEU per år (Jernbaneverket, 2015). Denne grensen blir ikke fastsatt etter størrelse, men etter en situasjon hvor effektiviteten på terminalen gradvis vil reduseres og kostnaden for transportørene øker, noe som vil gi en avvisningseffekt (Jernbaneverket, 2015).

Gjennom sporforbindelsen “Kronstadsporet” knyttes Nygårdstangen godsterminal og Mindemyren terminal sammen (Bergen Kommune, 2016). Her håndteres bilvognene, som er togvogner designet for å frakte biler. Om lag 60-70 biler ankommer med tog per dag, og Mindemyren har en kapasitet som tilsvarer ca. 30 000 TEU per år (Bergen Kommune, 2016).



*Figur 4 - Dagens områder for godshåndtering med jernbane i Bergen (Bergen kommune, 2016)*

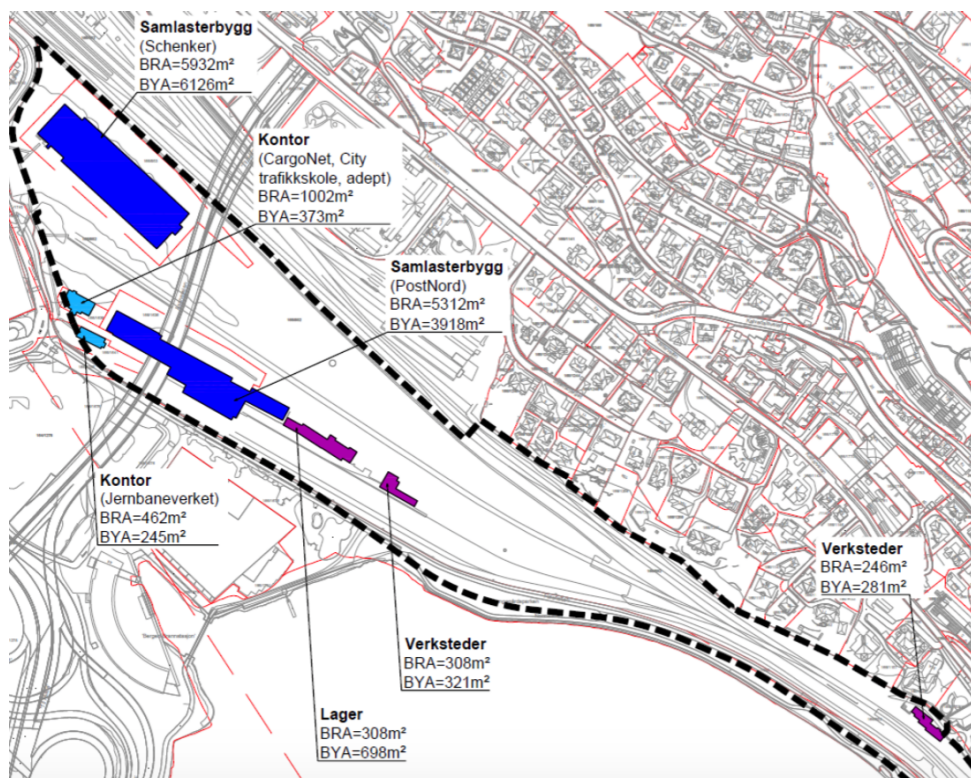
### **2.1.1 Aktører på Nygårdstangen**

På Nygårdstangen i dag finnes det to aktører, RailCombi og Green Cargo, som leverer håndtering av gods på terminalen. RailCombi er eid av CargoNet, som ble opprettet i 2002 som en videreføring av NSB Gods. Morselskapet CargoNet er togoperatør med nødvendige sertifikater til å kunne operere godstog i Norge og Sverige, mens terminaldriften i Norge er skilt ut i RailCombi. Fram til 2010 var selskapet eid 55% av NSB og 45% av Green Cargo, men siden 2010 har NSB vært eneeier. (CargoNet, 2016)

Green Cargo Norge AS ble etablert i mars 2016, som et datterselskap til Green Cargo AB, og har to datterselskap: Green Cargo Togdrift AS og Green Cargo Terminaldrift AS (Green Cargo, 2014). Green Cargo AS har operert godstog mellom Norge og Sverige siden jernbanemonopolet på godstog ble opphevet i 2008. Etter at de kjøpte opp Cargolinks virksomhet i 2016 (Wolden, 2016), fremfører de i dag godstog mellom Alnabru og: Åndalsnes, Trondheim, Bergen og Stavanger (Green Cargo, 2014). I tillegg tilbyr de håndtering av containere på de overnevnte terminaler.

I tillegg til RailCombi AS og Green Cargo Terminaldrift AS, finnes det to terminaloperatører tilknyttet Nygårdstangen som kun håndterer bilgods. Autolink AS opererer på Mindemyren terminal, mens Auto Transport Service AS (ATS) opererer på Nygårdstangen. (Bane NOR, 2017a).

På Nygårdstangen eksisterer det to samlaster-terminaler, som opereres av PostNord og Schenker. Alt gods som går på jernbane fraktes i lastenheter som eksempelvis containere, men det skilles mellom stykkgoods og partilast. Partilast vil si at én aktør trenger frakt av en hel container. Vedkommende vil derfor kjøpe befraktning av godsselskapene, løftetjenester i forbindelse med overføring av container mellom tog og lastebil, og eventuell befraktning med lastebil til sluttdestinasjon. Stykkgoods er gods fra mange mindre aktører som fraktes samlet i en container, og som derfor må sorteres i samlaster-terminaler før kunde-avhenting. Samlasterne fungerer derfor som storkunder av CargoNet og Green Cargo, hvor de har reserverte plasser på togene, samt kjøper terminaltjenester fra terminaloperatørene. Terminaloperatørene sørger da for at togene prosesseres på terminalen, og at containerne overføres mellom tog og lastebiler, mens samlasterne og andre partilast-kunder sørger for henting og levering av containere på terminalen.



Figur 5 - Bygg på terminalen i dag (Bergen kommune, 2016)

## 2.2 Terminalens ressurser

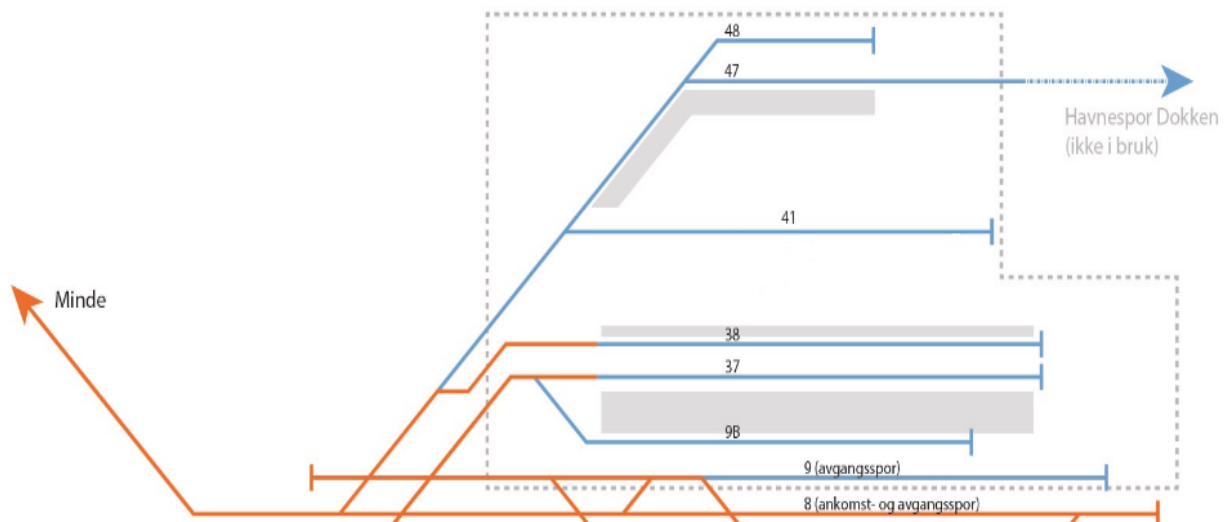
Nygårdstangen godsterminal har forskjellige ressurser for å håndtere togene og containerne. Under presenteres ressursene til systemet, og fokuset i oppgaven vil videre handle om RailCombi og Green Cargos operasjoner.

### 2.2.1 Lastespor

Et lastespor er et jernbanespor dedikert til omlasting av containere til/fra tog (Bane NOR, 2017b). På Nygårdstangen finnes det i dag totalt seks lastespor, herunder tre halve og tre hele spor. Spor 48, 47 og 41 er de halve sporene, som opereres av Green Cargo Terminaldrift AS, mens spor 37, 38 og 9B som er de hele sporene, opereres av RailCombi AS (Jernbaneverket, 2017a).

Tabell 1 - Sporelengder Nygårdstangen godsterminal

Spor	48	47	41	38	37	9B
Operatør	Green Cargo Terminaldrift AS			RailCombi AS		
Lengde (meter)	320	320	300	520	520	440



Figur 6 - Sporplan Nygårdstangen (Banenor, 2017a)

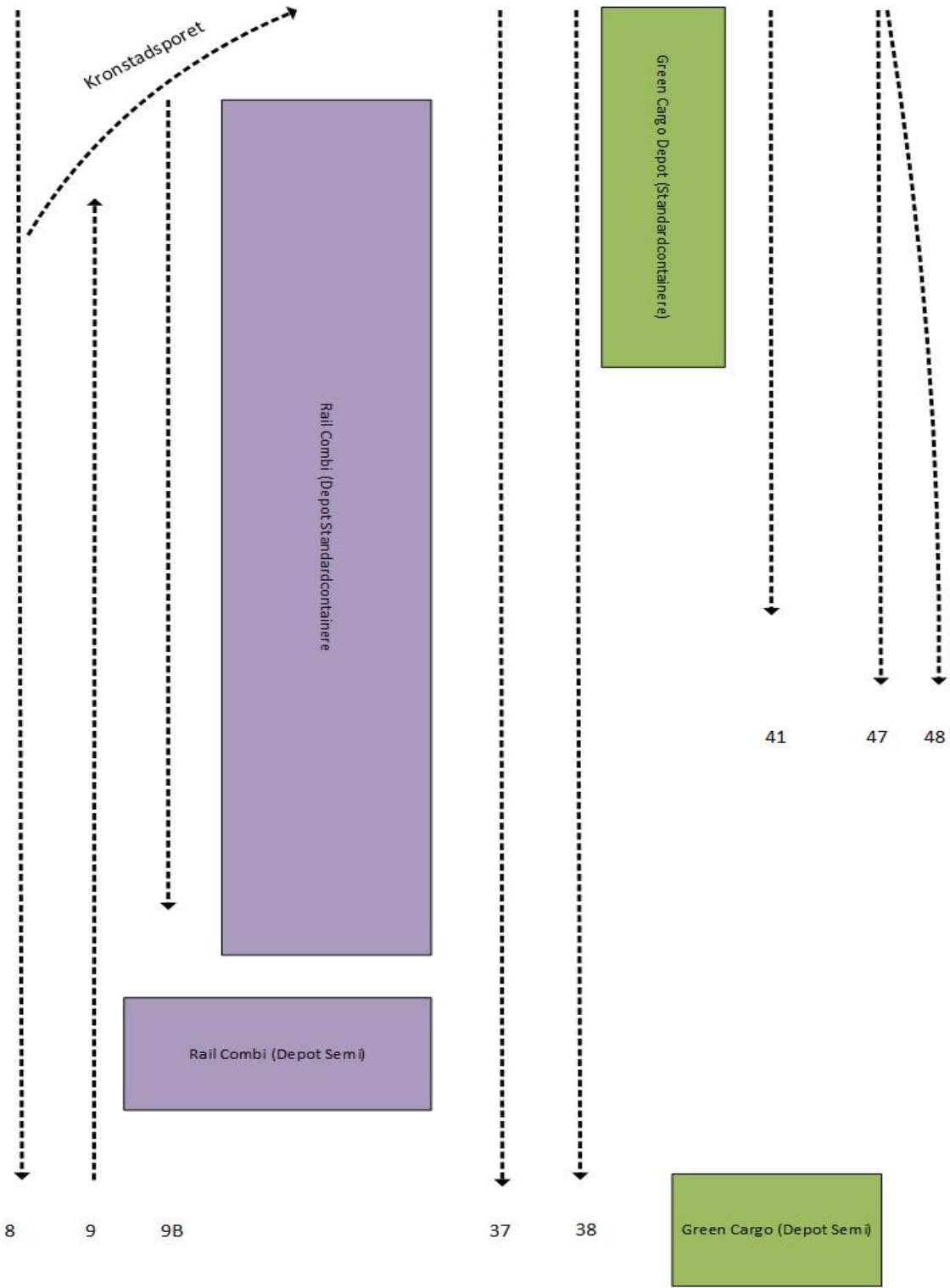
---

Spor 8 er ankomst- og avgangssporet for både persontogene og godstogene, mens spor 9 er et avgangs- og hensettingsspor for godstogene. Det er også mulig å hensette vogner på Mindemyren terminal dersom kapasiteten er svært presset, men her er maks kapasitet 36 TEU, altså mindre enn et normalt tog.

## 2.2.2 Depot

Siden lastebilene som skal hente og levere containere til toget ikke ankommer i en koordinert kø, må RailCombi og Green Cargo mellomlagre containere i depot. Liggetiden for containere i depotene vil variere fra noen få minutter eller timer, til flere døgn for de tregeste kundene. For liggetider over 24 timer påløper en døgnavgift på 200 kr per TEU hos RailCombi, mens Green Cargo fakturerer 400 kr per TEU for liggetider over 48 timer. De fleste containerne hentes innenfor disse grensene, og som regel før klokken 12 den samme dagen.

Kapasiteten i depotet vil variere avhengig av type container, og om containerne kan stables. Både RailCombi og Green Cargo har to depoter hver; ett for semivogner som kan stå på egne hjul, og ett for standard-containerer som plasseres rett på bakken (se figur 7). RailCombi oppgir en kapasitet på 10-12 semivogner (20-24 TEU) i semi-depotet, og en kapasitet på cirka 100 TEU i depotet for standardcontainere, som er forutsatt god stabling (Nilsen, personlig melding 29.05.17). Green Cargo har lagringsplass til maks 10 semivogner (20 TEU) i deres semidepot, mens depotet for standardcontainere kan romme cirka 80 TEU med god stabling (Fegri, personlig samtale 17.04.17). Ettersom depotene fylles opp vil håndteringsutstyret (reachstacker og truck) bruke en økende andel tid på å flytte containere for å finne aktuell kundecontainer, og terminaloperatørene ønsker derfor å holde lav fyllingsgrad i depotene.



Figur 7 - Oversikt over depot Nygårdstangen

---

## 2.2.3 Håndteringsutstyr

### Håndtering av tog

For å forflytte tog og godsvogner mellom de ulike sporene, brukes et dieseldrevet skiftelokomotiv. Det er RailCombi som håndterer all skifting på terminalen, og per i dag har de ett skiftelokomotiv, samt ett i reserve. I tillegg brukes det to terminalarbeidere fra RailCombi for å utføre skifteoperasjonene.



*Figur 8 – Skiftelokomotiv*

### Håndtering av containere

For å håndtere containere mellom tog, depot, og lastebiler, brukes det både gaffeltruck og reachstacker på Nygårdstangen.

En gaffeltruck (heretter truck) brukes til av- og pålasting av 20- og 25-fots containere (både standardcontainere og skapcontainere) som har løftelommer på bunnen av containeren (se 2.3.3.1). Kapasiteten er på 1 TEU per løft.



*Figur 9 - Truck*

En reachstacker er mer allsidig da den kan løfte containere både fra toppen, og ved hjelp av “linjaler” som er utslagbare. Reachstackeren egner seg derfor til forflytning av både 20/25-fots containere, 40/45-fots containere og semivogner. Maks kapasitet er 2 TEU per løft. De raskeste løftene er toppløftene, mens det tar lengre tid dersom man må slå ut linjalene. I tillegg er ofte et løft av en semivogn, som vises på bildet nedenfor, mer komplisert enn løft av en vanlig container (se 2.3.3).



*Figur 10 - Reachstacker*



Per i dag har RailCombi to reachstackere og én gaffeltruck, mens Green Cargo har én reachstacker og én gaffeltruck. Dette utgjør en samlet kapasitet på tre reachstackere og to gaffeltrucker for terminalen som helhet.

## 2.3 Karakteristika ved togene

### 2.3.1 Ruteplan

I dag finnes det én jernbaneskinne mellom Bergen og Hønefoss, kalt Bergensbanen. Siden denne jernbanelinjen skal håndtere både inngående og utgående person- og godstog, er kapasiteten begrenset, og overfartene må derfor koordineres nøye. (Jernbaneverket, 2014). Normalt bruker persontogene en stor andel av kapasiteten på jernbanelinjen fra morgenen og utover dagen, mens godstogene har overfart fra kveld og frem til neste morgen, hvilket forklares nærmere under 3.2.2.

Ruteplanen presentert i tabell 2 viser at det i dag går 8 togpar hvert døgn, fra tirsdag til torsdag, mellom Alnabru og Bergen. Green Cargo har tognummer som starter på 48, mens de resterende togparene tilhører CargoNet/RailCombi.

*Tabell 2 - Gjeldende ruteplan for Nygårdstangen*

Tognummer	Ankomst	Spor	Lossestart	Lastefrist	Avgang	Spor	Tognummer
4843	01:23	48/41	01:55	18:00	19:08	9	4844
5501	02:43	9B	03:05	08:10	08:52	9	5506
5511	03:34	37	04:05	10:30	11:09	37	5504
5519	04:05	38	04:35	20:20	21:01	38	5518
4849	04:27	47/41	04:55	08:00	08:59 (neste dag)	8	4842
5515	05:57	9B	06:20	19:20	19:58	9	5510

5505	18:40	37	19:10	21:30	22:11	37	5512
5507	20:42	9B	21:05	16:30	17:08 (neste dag)	37	5508

Snutiden til et tog betyr at toget må oppholde seg på terminalen mellom ankomst og avgang. Siden det er mange tog som skal håndteres og antall lastespor og hensettingsspor er begrenset, legger dette press på kapasiteten til terminalen. Tabell 3 viser snutiden til de forskjellige togene.

*Tabell 3 - Snutider*

<b>Tognummer</b>	<b>Ankomst</b>	<b>Avgang</b>	<b>Tognummer</b>	<b>Snutid</b>
4843	01:23	19:08	4844	1065
5501	02:43	08:52	5506	369
5511	03:34	11:09	5504	455
5519	04:05	21:01	5518	1016
4849	04:27	08:59 (neste dag)	4842	1712
5515	05:57	19:58	5510	841
5505	18:40	22:11	5512	211
5507	20:42	17:08 (neste dag)	5508	1226

Det er store variasjoner i snutiden til de enkelte togparene, hvor skifting, lossing og lasting skal forekomme i mellomtiden. Allikevel ser vi fra tabell 3 at det er mulig å snu et tog på 211 minutter dersom det er ledig kapasitet ved jernbanelinjen.

---

## 2.3.2 Godstog

Godstogene til og fra Nygårdstangen er enten rene kombitog eller blandede kombi- og vognlast (biltransport)- tog. Maksimal total togvekt (1) og maksimal lengde (2) er de to viktigste faktorene i forbindelse med frakt av gods på Bergensbanen.

- (1) Togenes vekt blir gitt av hvor sterke lokomotiver man har til å trekke togene, og ved å bruke sterkere eller flere lokomotiver kan man øke mulig togvekt. Dette fordi et lokomotiv må være i stand til å få et tog i gang igjen opp en stigning, dersom det skulle være behov for å stoppe i de bratteste strekningene. I tillegg må et tog kunne opprettholde en viss hastighet når toget skal kjøre opp lange og bratte sammenhengende stigninger (Skovdahl, Bryne & Bergqvist, 2012).
- (2) Lengden på kryssingssporene langs jernbanelinjen gir føringer for hvor lange godstog som er mulig å kjøre, da for korte kryssingsspor gir redusert kapasitet for kryssing mellom godstog. I tillegg vil antall forbikjøringsspor og spor på terminaler legge begrensninger på toglengde (Skovdahl, Bryne & Bergqvist, 2012). Dette vil igjen legge føringer for container-kapasiteten til de enkelte togene.

### 2.3.2.1 Kombitog

Et godstog består av godsvogner som er enten 18 eller 35 meter lange. Kapasiteten til en 18 meters vogn er 2 TEU, mens en 35 meters vogn tar 4 TEU. Per i dag kjører Green Cargo utelukkende med 35 meters vogner i sine godstog, mens CargoNet opererer med både 18 og 35 meters vogner i sine tog. En vesentlig forskjell er for øvrig at semivogner kun kan plasseres i 35 meters vogner, fordi denne type container krever vogn med hjulbrønn.



*Figur 11 - Kombitog RailCombi*

Lengden på de ulike godstogene varierer, hvor de korteste kombitogene er 370 meter, med kapasitet 42 TEU, mens de lengste er Green Cargos to tog på 455 meter, med kapasitet på 52 TEU ( $52/4$  TEU per vogn = 13 vogner \* 35 meter = 455 meter). Lengdene som presenteres i tabell 4 vil for øvrig variere noe, avhengig av etterspørsel. Vi presenterer derfor den konfigurasjonen som ble kjørt når denne oppgaven ble skrevet.

*Tabell 4 - Toglengder med tilhørende kapasitet*

<b>Tognummer</b>	<b>Antall 35 meter vogner</b>	<b>Antall 18 meter vogner</b>	<b>Total lengde (meter)</b>	<b>Maks kapasitet (TEU)</b>
5511/5504	9	7	441 meter	50 TEU
5515/5510	8	5	370 meter	42 TEU
4843/4844	13	0	455 meter	52 TEU
4849/4842	13	0	455 meter	52 TEU
5505/5512	8	5	370 meter	42 TEU
5507/5508	8	5	370 meter	42 TEU

### 2.3.2.2 Kombi-vognlast-tog

Det er kun CargoNet som kjører blandede kombi-vognlast-tog, med togparene 5501/5506 og 5519/5518. En bilvogn er 30 meter lang, og kan romme 12 biler á 5 meter (to etasjer). Omregnet til TEU, har hver vogn maksimal kapasitet på 4 TEU.

Bilvogner ankommer med 5501 toget fra Alnabru (maksimalt 6 bilvogner) og 5519 toget fra Drammen (maksimalt 4 bilvogner). Alle bilvogner kommer fra Drammen, slik at 5501 toget stopper i Drammen og får koblet på vogner. Det er mulig å returnere bilvogner med 5506 toget, men ofte prøver CargoNet å samle alle bilvognene med 5518 toget (maksimalt 10 bilvogner) (Nilsen, personlig melding, 23.02.2017). Dette gjør at 5518 toget er det lengste godstoget som opereres på Bergensbanen.

Konfigurasjonene som presenteres i tabell 5 vil kunne variere avhengig av etterspørsel, med tanke på antall bilvogner og antall kombivogner.

Tabell 5 - Toglengder med tilhørende kapasitet

Tognummer	Antall 35 meter vogner	Antall 18 meter vogner	Antall bilvogner	Total lengde (meter)	Maks kapasitet (TEU)
5501/5506	5	5	6/0	445/265 meter	54/30 TEU
5519/5518	5	4	4/10	367/547 meter	44/68 TEU

### 2.3.3 Lastenheter

Under følger en kort oversikt over ulike containertypene som benyttes for godsbefraktning på jernbane i Norge. Internasjonalt finnes det flere typer containere, og listen gjelder derfor kun de aktuelle containere som brukes i forbindelse med Nygårdstangen. Videre i oppgaven vil vi kun skille mellom standardcontainere på 1 TEU og semivogner på 2 TEU.

#### 2.3.3.1 Stålcontainer

Stålcontaineren kommer i ulike størrelser, hvor 20/25 fots regnes som 1 TEU, mens 40/45-fots regnes som 2 TEU. Fordelen med stålcontaineren er at den kan stables, og at den kan

løftes både ved hjelp av toppløft (reachstacker), og ved hjelp av gaffeltruck, siden den har løftelommer i bunn. I tillegg til stålcontaineren håndterer Nygårdstangen også 20/25-fots tanker, som står i en stålkonstruksjon. Disse kan kun opereres med reachstacker siden de krever toppløft, men de kan i likhet med stålcontaineren stables i høyden.



*Figur 12 – Stålcontainer*

### *2.3.3.2 Skapcontainer*

På samme måte som nevnt ovenfor, regnes 25-fot som 1 TEU, mens 40-fot regnes som 2 TEU. Skap-containeren kan som regel ikke stables, selv om noen har forsterkninger som tillater dette. Alle skapcontainere har løftelommer på bunnen, slik at de kan løftes av gaffeltruck. Noen har mulighet for toppløft, men en reachstacker må ofte slå ut linjalene for å kunne håndtere en skapcontainer.



*Figur 13 – Skapcontainer*

### *2.3.3.3 Semivogn*

Semivognen er en 40/45-fots container som har påmonterte hjul og utslagbare støtteben, slik at den lett kan settes på bakken, eller kobles direkte til en trekkvogn, og dermed utgjøre en semi-trailer. Det finnes forskjellige typer semivogner, hvor noen håndteres ved hjelp av toppløft, mens de resterende håndteres ved at reachstackeren slår ut linjalene.

En fordel med semivogn er at når den er satt på bakken, kan den fraktes rundt av en terminaltraktor, slik at det frigjøres kapasitet på reachstackeren. I tillegg kan en lastebil koble seg direkte på en semivogn uten hjelp fra reachstacker, og den krever derfor færre løft enn en standardcontainer som mellomlagres. Ulempen er at på grunn av det påmonterte chassiset, kan den ikke stables i høyden. En semivogn trenger også godsvogner med hjulbrønn.

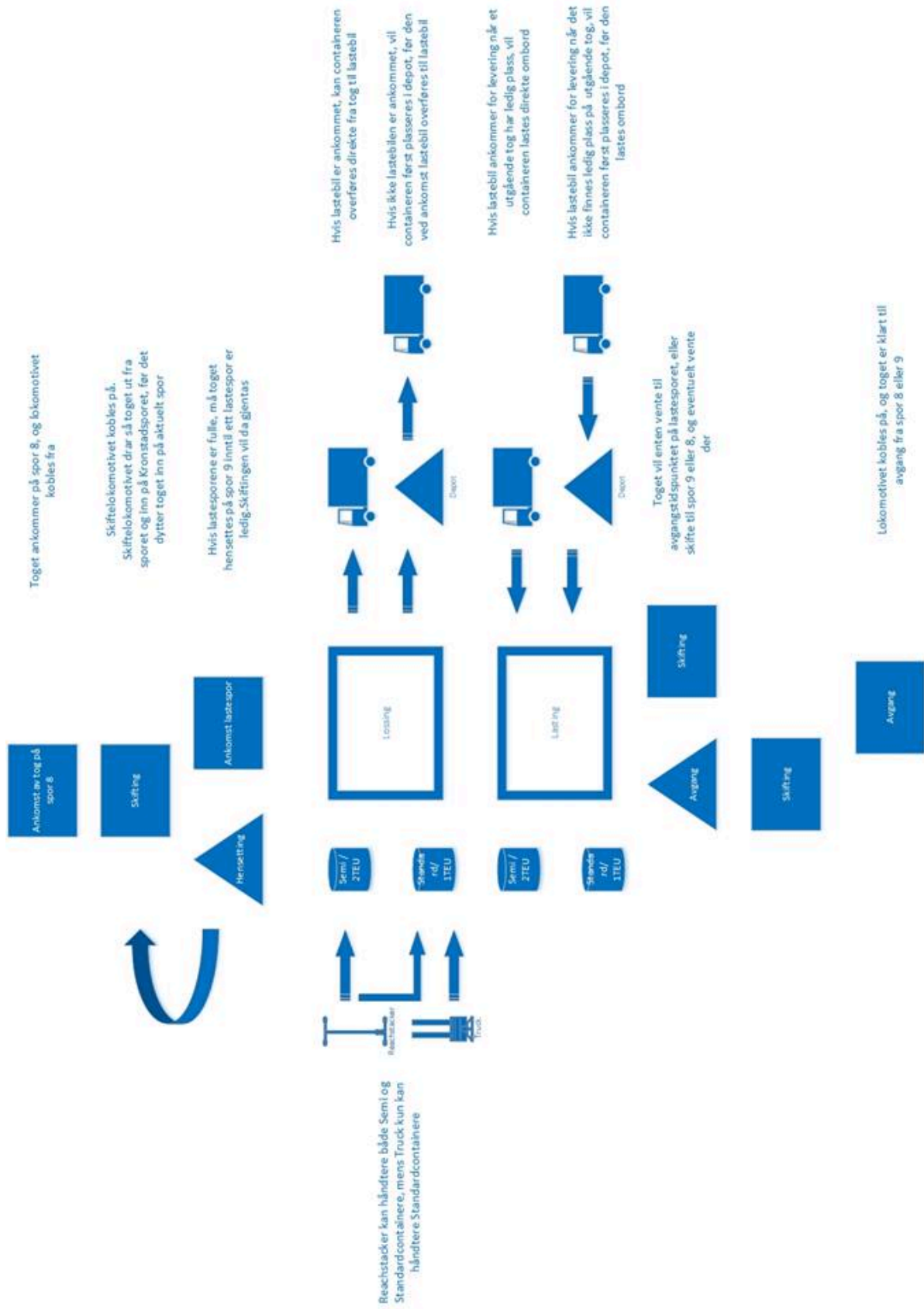


*Figur 14 – Semivogn*

## 2.4 Prosessbeskrivelse

Vi vil i dette delkapittelet beskrive prosessen på Nygårdstangen i detalj, fra ankomst til avgang. Prosessmodellen viser en grov skisse over hvordan togene og containerne flyter på Nygårdstangen.





Figur 15 – Prosesskart Nygårdstangen

### 2.4.1 Ankomst

Godstoget ankommer Nygårdstangen terminal på spor 8. Når toget har kommet til en fullstendig stans på ankomstsporet, kobles det elektriske lokomotivet av, og skiftelokomotivet kobles på i andre enden.

RailCombi er ansvarlig for skiftingen til Green Cargo og biltogene, i tillegg til egne tog. To terminalarbeidere fra RailCombi behøves for skifteprosessen: én terminalarbeider kjører skiftelokomotivet, mens én terminalarbeider står på den bakerste vognen og sørger for pensing av tog fra spor til spor. Terminalarbeideren som står bakerst vil også sørge for å dele de godstogene som behøver dette, ved å skille vogner.

Skiftelokomotivet vil først dra godstoget ut fra ankomstsporet, og inn på Kronstadsporet. Når godstoget er dratt langt nok inn på Kronstadsporet, vil den ene terminalarbeideren sørge for å pøse godstoget inn på riktig spor, før skiftelokomotivet dytter godstoget/vognene inn på et av de ledige lastesporene. Hvilket lastespor som benyttes til hvilket tog er bestemt ut ifra en definert plan, som er koordinert opp mot ruteplanen for å sikre god utnyttelse av lastesporene og hensettingssporene.

Green Cargos to godstog er lengre enn de definerte lastesporene som skal håndtere akkurat disse togene, og vil derfor måtte deles. Dette krever en noe mer komplisert skifteoperasjon både før ankomst på lastesporene og etter avgang fra lastesporene, siden toget må settes sammen igjen før avgang. RailCombis biltog må også deles, og krever samtidig at skiftelokomotivet frakter bilvognene ned til Mindemyren i de tilfellene det er Autolink sine vogner. Dersom bilvognene tilhører Auto Transport Service skal de losses på Nygårdstangen, og man vil i disse tilfeller ikke trenge å dele toget.

Deling av godstog og hensetting av vogner kompliserer og øker tidsbruken på skifteoperasjonene, og legger derfor større beslag på både Kronstadsporet og håndteringsressursene hos RailCombi. Sistnevnte fordi de to terminalarbeiderne som håndterer skiftingen er fleksible ressurser, som utenom skifting også håndterer containere ved hjelp av reachstackere og trucker.

---

## 2.4.2 Lossing

Lossing av godstoget starter som oftest umiddelbart etter at skiften er avsluttet, og toget er ankommet på lastesporet. Over 50 % av godset som ankommer Bergen skal til samlasteterminalene, og disse operatørene har egne lastebiler som kjører skytteltrafikk mellom terminalene og lastesporene (Jon Austerheim, Head of intermodal transport ved Schenker, telefonsamtale 20. februar 2017). I tillegg finnes det flere store kunder, eksempelvis Bama, Rema 1000 og NorgesGruppen, som henter containere direkte fra toget (partilast). Disse kundene vet som regel hvilken container de skal hente, og vil plassere lastebilen på en slik måte at det er enkelt for truck/reachstacker å betjene vedkommende. I noen tilfeller vil en lastebil lete etter en spesifikk container, og det vil derfor forekomme en del kjøring langs lastesporene på leting etter riktig container, før lastebilen til slutt vil plassere seg foran aktuell container.

Avhengig av hvilket tog som kommer, hvor presset kapasiteten på lastesporene er i forhold til ruteplanen, og lastebilenes ankomst, vil containeren håndteres på følgende måter: (1) containeren settes i depot og (2) containeren løftes direkte fra tog til lastebil. Ved (1) vil containeren først plasseres i depot, og deretter løftes fra depot til lastebil. Dette innebærer en dobbelt-operasjon, og det mest effektive er følgelig (2).

(1) vil også medføre at depotet etterhvert vil fylles. Siden depotet er begrenset og befinner seg på bakken mellom lastesporene, vil en økt fyllingsgrad av depotet bety at trucker og reachstackere vil bruke mer tid på kjøring og flytting av containere for å få tilgang til aktuell container etterhvert som kundene ankommer.

## 2.4.3 Lasting

Lasting starter som regel umiddelbart etter at lossing er ferdig, dersom toget ikke skal hensettes i mellomtiden. I mange tilfeller vil også toget losses og lastes samtidig. Som regel vil toget nesten være ferdig losset med kun noen få containere gjenstående på toget, i det lastingen starter.

Lastebilene (som skal levere gods som skal fraktes med toget) kan enten komme: (1) før lastingen starter; (2) mens lastingen pågår; (3) etter at toget er ferdig lastet. I tilfelle (1) eller (3), må containeren mellomlagres i depot, noe som vil innebære en dobbelt-operasjon, siden

containeren først må løftes fra lastebil til depot, og deretter fra depot til tog. Truckene og reachstackerne vil forsøke å fylle de fremste vognene først, og semivogner vil som nevnt kreve vogner med hjulbrønn.

Kundene har ulike avtaler med RailCombi og Green Cargo. Noen har faste rammeavtaler, slik at et tog kan ha faste plasser til containere fra spesifikke kunder, som faktureres uavhengig av om kunden leverer container til befraktning. Det finnes også fleksible rammeavtaler, hvor en kunde har reservert plass på et tog, som de kan avbestille innenfor et gitt tidsrom. I tillegg finnes det åpne plasser, som reserveres fortløpende.

For RailCombi og Green Cargo er det ønskelig å oppnå høy utnyttelsesgrad på godsvognene, og lav grad av mellomlagring i depot. De forsøker derfor å betjene kunder fortløpende, og vil plassere containere som ankommer på første ledige tog, dersom det er ledig kapasitet. Derfor vil containere som ankommer før et tog lastes, i mange tilfeller overføres til et tog med tidligere avgang, ved ledig kapasitet.

#### **2.4.4 Kontroll**

Godsvognene og containere må kontrolleres før avgang, og her er det egne rutiner avhengig av type container. Eksempelvis krever semivogner og skap-containerer en mer omfattende sjekk siden de har sideluker som må være forsvarlig lukket under overfarten. Kontrollen starter som regel etter at toget er ferdig lastet, og foretas av en eller to terminalarbeidere. Dersom det er ledig kapasitet og lav aktivitet, starter ofte kontrollen tidligere, og før toget er ferdig lastet.

#### **2.4.5 Avgang**

Avgang skjer etter fastsatte rutetider. Skiftelokomotivet vil dra godstoget ut i Kronstadsporet, og skyve det inn på spor 8 eller 9 for avgang. Dersom toget ble delt ved ankomst, vil skifteoperasjonene som ble beskrevet under 2.4.1 gjentas i motsatt rekkefølge. Etter at skifteoperasjonene er ferdig og toget er plassert på avgangssporet, vil det elektriske lokomotivet kobles på, og godstoget er klart for avgang på klarsignal.

### 3. Teori

I dette kapittelet vil vi først presentere operasjonelle måltall knyttet til servicesystemer. Ytelsen til et servicesystem avhenger av variabilitet i ankomstrate og prosesseringstid, og vi presenterer derfor sammenhengen mellom operasjonelle måltall og variabilitet, og konsekvensen av økt variabilitet for systemet. Til slutt presenteres utdrag fra to forskningsartikler som tar for seg simulering av jernbane.

#### 3.1 Operasjonelle måltall knyttet til servicesystemer

En jernbaneterminal er et servicesystem, hvilket betyr at det ikke er mulig å lagre kundeordrer på forhånd, siden behovet oppstår i det kunden ankommer prosessen. Systemet må derfor operere med hensiktsmessig kapasitet i møte med etterspørselen: til enhver tid ha ressurser tilgjengelig som står klare til å behandle innkommende kundeordrer. En kundeordre kan her bety en innkommende lastebil som skal hente/levere en container, og som derfor har behov for håndtering. På et høyere plan er det også hensiktsmessig å beskrive et innkommende tog som en kundeordre, siden terminalen må ha ressurser til å håndtere togene som kjøres. De to prosessene er derfor gjensidig avhengige av hverandre, men kundene til de to prosessene er forskjellige. På bakgrunn av dette skiller vi mellom tog og lastebiler som flytenhet, hvor tog er avhengig av lastebilers ankomst for å kunne bli håndtert.

Først ønsker vi å se overordnet på Nygårdstangen som et system, med togene som flytenhet, hvor ressursene som skal håndtere togene er gitt i tabell 6. Deretter ønsker vi å se på håndteringen som et system, hvor lastebilene er flytenheten som måles.

*Tabell 6 – Ressursene til de ulike flytenhetene på Nygårdstangen*

<i>System</i>	<i>Kunde</i>	<i>Server(e)</i>
Nygårdstangen	Tog	Spor, lastespor, skiftelokomotiv, 2 terminalarbeidere
Håndtering	Lastebiler	Truck, reachstacker, 1 terminalarbeider per utstyr

For å måle ytelsen til prosesser brukes gjennomløpstid, gjennomstrømningsrate, og lager/antall kunder i systemet. Ytelsen blir derfor gitt av antall ressurser og ytelsen til disse ressursene (kapasitet), og hvor mange kundeordrer (med variable ankomstrater og prosesseringstider) som systemet skal behandle.

### 3.1.1 Gjennomløpstid (T)

Gjennomløpstid (T) er den samlede tiden som en kunde/flytenhet i snitt bruker gjennom en hel prosess, fra start til slutt. Tidsbruken varierer fra enhet til enhet, og består av både gjennomsnittlig aktivitetstid (prosesseringstid)  $T_p$  og av gjennomsnittlig ventetid (buffer)  $T_i$  (Anupindi, Chopra, Deshmukh, Van Mieghem & Zemel, 2014, s. 217). Gjennomløpstid  $T$  per kunde, blir derfor  $T = T_i + T_p$ .

Når en flytenhet er et tog, vil ventetid  $T_i$  være tiden som et tog må vente på ledig lastespor etter ankomst, mens prosesseringstid  $T_p$  vil være tiden man bruker på å håndtere et helt tog (skifte + losse og laste), inntil avgang. Gjennomløpstid  $T$  for togene på Nygårdstangen vil derfor være tiden fra et tog starter skifting til lastesporet, til det er ferdig håndtert og klar for avgang. Siden togene må vente på klarsignal for å kunne forlate terminalen, vil prosesseringstiden også inneholde eventuell venting som skjer på lastesporene.

Når en flytenhet er en lastebil (her brukes henting av container som eksempel), vil ventetid  $T_i$  være tiden fra en lastebil har stilt seg opp foran aktuell container, til håndteringen starter. Prosesseringstiden  $T_p$  vil være lik håndteringstiden, som igjen er avhengig av om det er en truck eller en reachstacker som benyttes for å flytte containeren fra tog/depot, og over til lastebil. Total gjennomløpstid  $T$  vil derfor være tiden fra en lastebil har stilt seg opp foran container, til håndteringen er ferdig og lastebilen kan forlate terminalen.

### 3.1.2 Gjennomstrømningsrate (R)

Gjennomstrømningsraten (prosesseringsraten) er gjennomsnittlig antall enheter som passerer gjennom prosessen per tidsenhet, for eksempel per - år, uke, time, minutt. I en serviceprosess

---

er ankomstrate og prosessens kapasitet de viktigste parameterne for å beregne gjennomstrømningsrate. (Anupindi, 2014, s. 216-217).

- Ankomstrate er den gjennomsnittlige flyten av kunder inn i en prosess, per tidsenhet. Ankomstrate  $R_i$  kan måles enten ved å finne tidspunktene kundene ankommer prosessen på, eller ved å beregne totalt antall kunder som ankommer prosessen over en viss tidsperiode og beregne gjennomsnitt av disse. (Anupindi, 2014, s. 216-217). Det vil altså være det samme som tiden mellom kunders ankomst.
- Kapasitet  $R_p$  representerer én ressursenhet sin maksimale bærekraftige gjennomstrømningsrate, isolert sett. Det er også mulig å kombinere flere lignende/identiske ressursenheter (som kan utføre like oppgaver) inn i et mer fleksibelt ressursnettverk  $c$ . Her vil kapasiteten til et ressursnettverk være summen av kapasitetene til de enkelte ressursenhetene. (Anupindi, 2014, s. 120)  
Kapasitetsutnyttelse  $u$  er den gjennomsnittlige andelen av et ressursnettverks kapasitet som er opptatt med å betjene kunder, gitt av  $u = \frac{R}{R_p}$

Gjennomstrømningsrate  $R$  er i en serviceprosess den minste av ankomstrate og prosessens kapasitet, slik at  $R = \min(R_i, R_p)$ . Dersom prosessens kapasitet  $R_p$  er større enn ankomstraten  $R_i$ , vil det være ledig kapasitet i systemet. På den andre siden, dersom ankomstraten  $R_i$  er større enn prosessens kapasitet  $R_p$ , vil det oppstå køer og ventetid. (Anupindi, 2014, s. 216-217)

Når en flytenhet er et tog, vil ankomstrate  $R_i$  være enten  $IAT^2$  på tog eller gjennomsnittlig antall tog over en gitt tidsperiode. Kapasitet  $R_p$  vil være én ressurs' evne til å håndtere tog over en gitt tidsperiode. Gjennomstrømningsraten vil da være lik den laveste verdien av ankomstraten i én ressurs og kapasiteten til én ressurs. Et eksempel er skiftelokomotivet; dersom skiftelokomotivet har en ankomstrate på 16 tog per døgn (siden hvert tog krever to skiftinger), og lokomotivet bruker omlag ti minutter per skift, vil skiftelokomotivet som ressurs ha en kapasitet på 144 tog per døgn. Gjennomstrømningsraten er derfor 16, og kapasitetsutnyttelsen vil utgjøre 11 %. Ressursene knyttet til togene vil altså ha forskjellige gjennomstrømningsrater, avhengig av prosesseringstiden  $T_p$  i hver ressurs. Disse ressursene

---

<sup>2</sup> *IAT: forkortelse for Inter-arrival-time, som på norsk betyr ankomstrate.*

vil igjen være avhengig av terminalansatte, håndteringsutstyret knyttet til containere, og lastebilers ankomstrate.

Når en flytenhet er en lastebil, vil ankomstrate  $R_i$  være gjennomsnittlig antall lastebiler som ankommer over en gitt tidsperiode, eller intervallet mellom lastebilenes ankomst. Kapasitet  $R_p$  vil være definert av ressursen som skal behandle lastebilene, som igjen er gitt fra prosesseringstiden i ressursen. Siden RailCombi har to reachstackere, vil det bety at de er har et ressursnettverk, med dobbelt så høy kapasitet som Green Cargo med én reachstacker. Dersom lastebilenes ankomstrate  $R_i$  er lik mellom de to operatørene, betyr det at RailCombi har kapasitet til å håndtere dobbelt så mange containere per tidsenhet, sammenlignet med Green Cargo.

### 3.1.3 Lager (I)

Lager blir i serviceprosesser definert som gjennomsnittlig antall kunder som finnes i hele prosessen. Det skilles mellom kunder som venter i kø på å bli prosessert, og kunder som blir prosessert. Kølengde  $I_i$  er det gjennomsnittlige antall kunder som venter i kø for å bli prosessert, mens  $I_p$  er det gjennomsnittlige antallet kunder som blir prosessert. Gjennomsnittlig totalt antall kunder i prosessen blir gitt fra  $I = I_i + I_p$  (Anupindi, 2014, s. 217).

Dersom flytenheten er tog, vil kølengde  $I_i$  være det gjennomsnittlige antallet tog som venter på ledig lastespor. Tog som blir prosessert  $I_p$  vil være det gjennomsnittlige antallet tog som befinner seg på lastesporet, slik at  $I$  vil det være det gjennomsnittlige antallet tog som befinner seg på terminalen.

Med lastebil som flytenhet vil kølengde  $I_i$  være det gjennomsnittlige antallet lastebiler som venter på håndtering, mens lastebiler som blir prosessert  $I_p$  vil være det gjennomsnittlige antallet lastebiler som håndteres.  $I$  vil derfor være det gjennomsnittlige antallet lastebiler som befinner seg på terminalen.



---

## 3.2 Variabilitet

Serviceprosesser er karakterisert ved (1) variabilitet i ankomstrate og i prosesseringstider, og (2) bruk av sikkerhetskapasitet for å håndtere denne variabiliteten (Anupindi, 2014, s. 214). I tillegg vil det også oppstå stokastisk variabilitet, som er uforutsett og tilfeldig variabilitet. Kø kan derfor oppstå selv i en stabil prosess hvor gjennomstrømningsraten er større enn ankomstraten. (Anupindi, 2014, s. 221).

Variabilitet alene ikke vil føre til at kø-dannelse, men variabilitet i prosesseringstid som er uavhengig av variabilitet i ankomsttid vil medføre en opphopning av kunder. Dette gjelder selv i en prosess hvor gjennomstrømningsraten er større enn ankomstraten, uavhengig av stokastisk variabilitet. Dersom det er mulig å synkronisere disse faktorene, vil køen kunne reduseres betraktelig. Et eksempel på synkronisering kan her være at korte prosesseringstider synkroniseres med hyppige ankomster. (Anupindi, 2014, s. 223-223).

For å effektivt analysere variabilitet, må vi kunne kvantifisere den. Variabilitet i ankomstrate og prosesseringstid kan beregnes ved hjelp av varians ( $\sigma^2$ ), som er et mål på absolutt variabilitet, og standardavvik. Likevel vil ikke disse måltallene gi et helt nøyaktig bilde, og vi bør heller benytte variasjonskoeffisienten. (Anupindi, 2014, s. 224)

### 3.2.1 Variabilitet i ankomstrate

Variasjonskoeffisient (CV) er et mål på den relative variansen, og for å beregne denne tar man standardavviket ( $\sigma = \text{kvadratroten av variansen}$ ) delt på gjennomsnittet ( $t$ ). (Hopp & Spearman, 2001, s. 251-252)

$$C_i = \frac{\sigma_a}{t_a} \text{ - hvor } a \text{ indikerer ankomst.}$$

Ved å benytte denne formelen kan man si noe om den tilfeldige variabiliteten til ankomstraten, om den er lav, moderat eller høy. (Hopp & Spearman, 2001, s. 251-252)

---

 Tabell 7 - Klassifisering av variabilitet

Variabilitetsklasser	Lav	Moderat	Høy
Variasjonskoeffisient	CV<0.75	0.75<CV>1.33	CV>1.33

Dersom koeffisienten er lav tilsvarer det jevn ankomstrate, mens dersom koeffisienten er høy vil ankomstraten være mer ujevn (Hopp & Spearman, 2001, s. 261-262).

Togene vil normalt ha noe variasjon i ankomstrate på grunn av forsinkelser og arbeid på jernbanelinjen. Likevel vil det være mest interessant å studere variabiliteten i ankomstraten til lastebilene, siden vi vet fra datainnsamlingen at lastebilenes ankomst har forholdsvis stor variabilitet. For presentasjon av det empiriske datamaterialet, se 5.2 og 5.4

### 3.2.2 Variabilitet i prosesseringstider

På samme måte som ved variabilitet i ankomstrate, kan man også beregne variasjonskoeffisienten ved prosesseringstider ved følgende beregning;

$$C_P = \frac{\sigma}{t}$$

Tabell 8 - Klassifisering av variabilitet

Variabilitetsklasser	Lav	Moderat	Høy
Variasjonskoeffisient	CV<0.75	0.75<CV>1.33	CV>1.33

Ved å benytte denne formelen kan man også her på samme måte som ved ankomstrate, si noe om den tilfeldige variabiliteten til prosesseringstidene. (Hopp & Spearman, 2001, s. 251-252)

På en containerterminal vil tog være av forskjellig lengde, og ha forskjellig containervolum som både skal losses og lastes. Dette betyr at tog kan ha høy variabilitet i prosesseringstider.

På prosesseringstiden til lastebiler vil det være lavere variabilitet relativt sett, siden det er standardiserte løft, hvor håndteringstiden varierer lite (se 5.3).

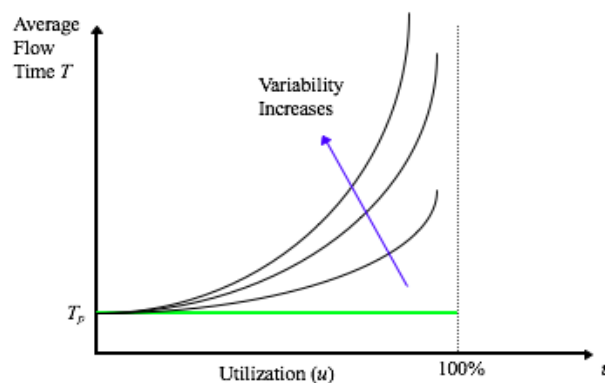
### 3.2.3 Kølengde-formelen

$$I_i = \frac{u\sqrt{2(c+1)}}{1-u} \frac{C_i^2 + C_p^2}{2}$$

*Formel for kølengde (Anupindi, 2014, s. 224).*

Et viktig operasjonelt måltall i servicesystemer er køen som bygger seg opp i forkant av prosesseringen. Kølengde-formelen beregner nettopp gjennomsnittlig antall kunder i kø  $I_i$ , og viser hvordan den gjennomsnittlig kølengden avhenger av kapasitetsutnyttelsen  $u$ , antall servere/ressurser  $c$  og variabilitet i ankomstrate  $C_i$  og prosesseringstid  $C_p$ . (Anupindi, 2014, s. 224).

Formelen er to-delt, hvor første faktor  $\frac{u\sqrt{2(c+1)}}{1-u}$  viser at kølengden øker ettersom kapasitetsutnyttelsen går mot 100 prosent. Andre faktor  $\frac{C_i^2 + C_p^2}{2}$  viser at kølengden øker dersom variabiliteten i ankomstraten og prosesseringraten øker. Formelen viser at dersom det er variabilitet i ankomstraten og gjennomstrømningsraten, vil det kunne oppstå køer, selv om det er ledig kapasitet (Anupindi, 2014, s. 225).



*Figur 16 - Throughput delay curve (Anupindi, 2014, s.224).*

### 3.3 Tidligere forskning

Det finnes begrenset med tidligere forskning som omhandler simulering av jernbaneterminaler. Likevel har vi valgt ut to artikler som omhandler temaet, og som har lagt føringer for datainnsamling og modellbygging.

#### 3.3.1 Innledning

Rizzoli, Fornara & Cambardella (2002) har utarbeidet en simuleringsmodell for flyten av intermodale transportenheter (ITU)/containere mellom og innenfor terminaler, som er knyttet sammen ved hjelp av jernbane. Modellen har en helhetlig tilnærming, og inneholder en vei-simulator, en jernbane-simulator og en terminal-simulator. Vei-simulatoren genererer ankomst av lastebiler, som både henter ITU på innkommende tog, og leverer ITU til utgående tog. Jernbane-simulatoren brukes til å simulere overfarten mellom to terminaler, og genererer ankomst og avgang av tog (i henhold til en ruteplan), inn og ut fra de respektive terminalene.

*Hvis planleggingen av transporten på vei-nettverket er perfekt, vil lastebilene ankomme i en optimal sekvens, slik at kranene utfører minimalt ekstraarbeid, og den gjennomsnittlige prosesseringstiden per tog vil følgelig være lav. (Rizzoli, Fornara & Cambardella, 2002).*

Athanasios Ballis og John Golias (2002) har gjennomført en komparativ evaluering av eksisterende og innovative godsterminaler for jernbane i Tyskland. I artikkelen undersøker de tekniske og logistiske utviklinger som kan føre til økt økonomisk og teknisk effektivitet på terminalene. Faktorene de analyserer er lengde og utnyttelsesgrad på sporene, tog og lastebilenes ankomstmønster, antall og type håndteringsutstyr, samt gjennomsnittlig stablehøyde på containerne i depotet. Analysen gjøres ved bruk av egenutviklede og tilpassede analyseverktøy: et ekspertsystem, en simuleringsmodell og en kostnadskalkulerings-modell. Analysen gir forslag til terminaldesign, som er effektive for et visst antall containervolum, samt at den kritisk vurderer utfordringer ved terminalkapasitet. *Videre hevder de at kapasitetsbegrensninger hovedsakelig kommer fra spor/omlastningsspor, heller enn håndteringsutstyret. (Ballis & Golias, 2002)*

I de enkleste operasjonene ankommer toget på lastespoet, blir losset og lastet, og blir på lastespoet frem til avgangstid. Denne typen operasjoner tillater nærmest utelukkende direkte

---

overføring fra tog til lastebil, uten at containerne behøver å mellomlagres i depot. Lossing og lasting blir i slike tilfeller diktert av lastebilenes ankomst på terminalen (Bose, 1983). (Ballis & Golias, 2002).

I virkeligheten er operasjonene ofte mer kompliserte. Dersom antall vogner på et innkommende tog overstiger lengden på lastespor, må toget splittes og vognene fordeles over flere lastespor. Hvis antall innkommende tog overstiger kapasiteten til lastesporene, må noen av togene først losses/lastes, deretter fjernes, før det er ledig kapasitet på lastesporene til de innkommende togene. En slik prosedyre krever at et tog først losses, ved at containerne enten settes i depot eller direkte på kundens lastebil (hvis mulig), for å garantere containerens tilgjengelighet for kunden. De tomme vognene må så kjøres til hensetting, før det er klart for lossing av neste tog. Etter dette vil de tomme vognene fra første omgang kunne kjøres tilbake til lastespor, før det er klart for lasting og avgang. (Ballis & Golias, 2002)

### 3.3.2 Hovedmomenter

Siden denne oppgaven er knyttet til operasjonelle aktiviteter på terminalen, presenteres viktige momenter fra artiklene som må inkluderes i vår modell. Vi vil også kommentere momentene kort opp mot Nygårdstangen terminal.

Rizzoli, Fornara & Cambardella (2002) identifiserer behovet for å modellere tre hovedprosesser: *lossing/lasting av ITU til/fra tog; mellomlagring av ITU på terminalen; ankomst og avgang av ITU fra lastebiler* (Rizzoli, Fornara & Cambardella, 2002). I tillegg spesifiserer Ballis & Golias (2002) viktige momenter knyttet til togenes ankomst, samt lengde og utnyttelse av lastespor (Ballis & Golias, 2002)

#### Togenes ankomstmønster

Ankomst av tog blir definert i en forhåndsdefinert og konfliktfri rutetabell (Rizzoli, Fornara & Cambardella, 2002) (Ballis & Golias, 2002). På det europeiske jernbanenettverket går det i de fleste tilfeller både passasjertog og godstog, hvor godstog (relativt til passasjertog) har en lavere hastighet. På grunn av dette går godstogene som regel om natten, og blir losset og lastet på dagtid. Som et resultat av denne praksisen har godstog som regel ankomst om morgenen, og avgang på kveldstid. (Ballis & Golias, 2002). Dette mønsteret kan også ses ved

Nygårdstangen, som vist under 2.3.1. Allikevel vil det være noen avvik: to tog har avgang fra Nygårdstangen før kl 12:00, og det ankommer også to tog til terminalen om kvelden.

### **Lengde og utnyttelse av lastespor**

Ifølge tysk forskning på jernbane er fire lastespor og to ventespor/hensettingsspor beste praksis i forhold til oppsett på terminalen. Det skilles mellom statisk og dynamisk kapasitet på lastesporene. Statisk kapasitet antar at ett lastespor kan betjene ett togpar daglig (ett innkommende om morgenen og ett utgående om ettermiddagen). Dynamisk kapasitet antar at ett lastespor kan betjene mer enn ett togpar per dag. Dette krever en operasjon lik den nevnt ovenfor, hvor man først lossere et tog, hensetter det, og deretter betjener et nytt innkommende tog. Dette må så losses og hensettes, før man kan hente de tomme vognene fra hensettingssporet og deretter starte lasting av dette. Konklusjonen er at det er tre effekter av dynamisk kapasitet: ekstrainsats for å skifte mellom tog, ekstrainsats for håndteringsutstyret (siden mange containere må settes i depot, før de kan lastes på lastebiler), og lengre ventetid for lastebiler siden håndteringsutstyret blir brukt både til å betjene innkommende lastebiler, i tillegg til "tøm toget"- operasjonene. (Ballis & Golias, 2002).

På Nygårdstangen bruker de en blanding av statisk og dynamisk kapasitet. De fleste lastesporene vil brukes av flere tog per døgn, men normalt vil man losse og laste et tog ferdig på lastesporet, før eventuell hensetting. Det vil også forekomme tilfeller hvor de lossere et tog, hensetter det, og deretter laster det, men siden det krever ekstra skifting vil man forsøke å unngå dette.

### **Ankomst og avgang av ITU fra lastebiler**

Ankomstmønsteret til lastebiler både på henting og levering av ITU er avhengig av rutetabellen til toget, åpningstider på terminalen, og av markedets bekvemmelighet. *Organiseringen av ankomsten til lastebilene spiller en viktig rolle i å bestemme terminalens kapasitet og ytelse.* (Ballis & Golias, 2002) (Rizzoli, Fornara & Cambardella, 2002)

Simulering av lastebilenes ankomst er nødvendig i forbindelse med terminalens input og output, samt ITU-nivået som er generert på tog og veg. (Rizzoli, Fornara & Cambardella, 2002). I følge Rizzoli, Fornara & Cambardella (2002) kan lastebilenes ankomst enten være statistisk modellert, eller gitt som en deterministisk input. Ballis & Golias (2002) anvender en ikke-stasjonær Poisson fordeling for å generere lastebil-ankomster til hvert tog som

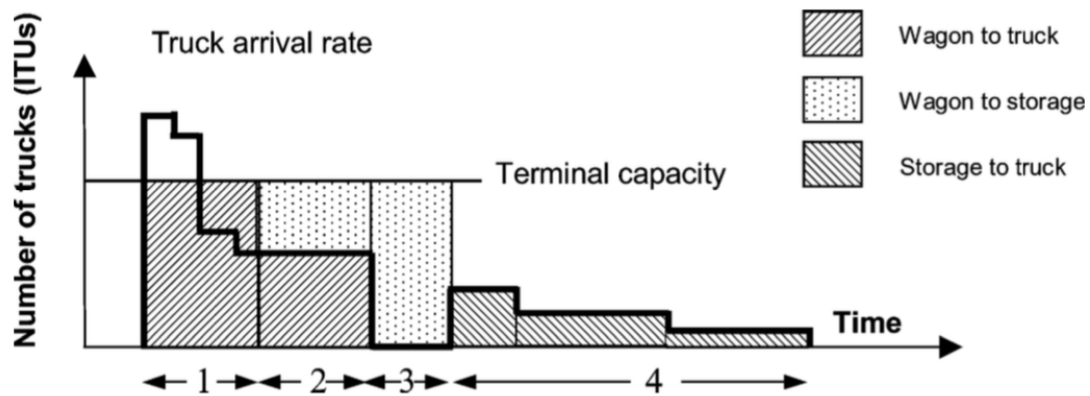
---

ankommer. Mønsteret på ankomstraten er bestemt på bakgrunn av korresponderende empiriske data. To empiriske mønstre (som følge av det tyske eksperimentet) brukes for lastebiler som skal hente containere. Det første korresponderer til tog som ankommer mellom 9:00 (terminalens åpningstid) og 15:00, og det andre mønsteret korresponderer til tog som ankommer mellom 15:00 og 22:00 (terminalens stengtstid). For lastebiler som skal levere containere til toget, brukes et tredje empirisk mønster for tog som ankommer mellom 9:00 og 22:00. (Ballis & Golias, 2002).

De empiriske mønstrene vi har observert på Nygårdstangen presenteres under 5.2 og 5.4.1. Vi ser at lastebiler som skal hente containere fra tog som ankommer mellom 03:30 og 06:00 har en høyere gjennomsnittlig ankomstrate, enn lastebiler som skal hente containere fra tog som ankommer mellom 18:40 og 02:45. For lastebiler som skal levere containere ser vi at ankomsten er lavere fra 00:00-09:00, enn for resten av døgnet.

#### **Lossing/lasting av ITU til/fra tog og mellomlagring av ITU på terminalen**

Losse/laste operasjonene kan typisk skilles i fire faser i følge Ballis & Golias (2002). Den første fasen starter når lossingen starter, som regel etterfulgt av et togs ankomst eller åpning av terminalen (i tilfelle tog har ankommet om natten). Generelt har det ofte ankommet en del lastebiler på dette tidspunktet, og håndteringsutstyret er derfor opptatt med å gi disse service (direkte overføring fra tog til lastebil). Etter en stund vil ankomstraten til lastebilene synke, og håndteringsutstyret vil derfor bruke ledig tid på å losse containere til depot. Denne andre fasen er dermed en mix mellom direkte overføring til lastebil, og overføring fra tog-depot. Tredje fase er kun lossing fra tog-depot. I denne fasen fullføres lossingen, slik at eventuelle skifteoperasjoner av vogner/lasting av tog kan starte. I fjerde fase skjer det kun overføring fra depot til lastebiler. Dette mønsteret er likt ved alle jernbaneterminaler, men tiden hver fase tar varierer i høy grad. (Ballis & Golias, 2002)



Figur 17 - Typical four crane phases of crane work (Ballis & Golias, 2002)

Størrelsen ved depotene vil også påvirke hvor lenge de ulike fasene vil vare. Dersom det er mulig å stable containerne i depot, vil det redusere arealbehov samt gjennomsnittlig distanse, men det øker prosesseringstider i forbindelse med flytting av containere. (Ballis & Golias, 2002)

Som nevnt under 2.2.2 opererer de to terminaloperatørene på Nygårdstangen to depoter hver, som benyttes til mellomlagring av inngående og utgående containere. Losseoperasjonene beskrevet ovenfor utføres omtrent likt på Nygårdstangen, men dette vil være avhengig av tog og tilknyttet ankomstrate på lastebiler, og av hvorvidt lastesporet må frigjøres raskt. På de togene hvor lastebilenes ankomstrate er høy vil den første fasen (direkte overføring) ha lenger varighet, relativt til tog hvor lastebilene har lav ankomstrate. Her vil ofte fase to starte direkte etter ankomst.



---

## 4. Metode

I metodedelen vil vi først presentere oppgavens videre fokusområder, og problemstillingene som vi har til hensikt å besvare. Videre presenteres forskningsdesignet som er brukt i den empiriske delen av avhandlingen. Her er hensikten å beskrive hvordan vi har jobbet for å få innsikt i systemet, hvordan vi har samlet inn data, og begrunnelse for valg av de ulike metodene. Til slutt vil vi også diskutere våre vurderinger av oppgavens validitet og reliabilitet.

### 4.1 Problemstilling

Som nevnt under 1.2 gjennomførte vi en forstudie til denne utredningen, hvor resultatene tydet på at godsterminalen i realiteten hadde en høyere kapasitet enn Jernbaneverket (nå BaneNor) uttaler i Konseptvalgutredningen (Jernbaneverket, 2015). Dette har vært styrende for ønsket om å kartlegge makskapasiteten til terminalen, som var utgangspunktet vi startet med.

Problemformuleringene er inspirert av dybdeintervjuene og observasjonene vi har gjort på terminalen, samt den omfattende mediedekningen godsterminalen har fått i forbindelse med flytting/og eller utvidelse. Tidlig i prosessen observerte vi blant annet at togene ofte hadde noe ledig kapasitet, og at lastebilene gjerne ankom litt uregelmessig og i klynger. Vi så også at det var perioder med høy aktivitet på håndteringen, etterfulgt av perioder uten aktivitet. Dette la føringer for hva vi ønsket å undersøke.

Først og fremst ønsker vi å se presset i systemet med dagens containervolum, ved å undersøke kapasitetsutnyttelsen på de ulike ressursene, og gjennomløpstiden til både lastebilene og togene. EU-kravet er at 95 % av lastebiler skal være ferdig behandlet innen 20 minutter, og vi vil derfor undersøke om de to terminaloperatørene tilfredsstillende dette (Ballis, Golias & Abacoumkin, 1997). I tillegg er det interessant å se på gjennomløpstiden til togene, for å se hvorvidt togene er ferdig behandlet før avgangstidspunkt.

I spørsmålene nedenfor har vi gjort et skille mellom tog og lastebil, hvor togenes direkte ressurser er de forskjellige sporene, skiftelokomotivet og Kronstadsporet. For lastebiler regner vi de direkte ressursene som terminalarbeidere og håndteringsutstyret.

- **Gitt dagens containervolum og ankomstrate på lastebiler, hva er gjennomløpstiden til togene, og hva er kapasitetsutnyttelsen på de direkte ressursene?**
- **Gitt dagens containervolum, hva er gjennomløpstiden til lastebiler som skal levere og hente containere, og hva er kapasitetsutnyttelsen på de direkte ressursene?**

For å videre undersøke hva den maksimale kapasiteten på Nygårdstangen er, vil vi først simulere et høy-etterspørsels scenario, hvor vi setter containervolumet lik togenes kapasitet, for å se effekten på systemet av en økning i antall containere som skal behandles. Her vil vi ikke endre på antall tog eller togenes lengde, siden vi vet at ruteplanen er fastsatt på bakgrunn av mange variabler, og som denne oppgaven ikke har forutsetninger for å kunne endre. Dette diskuteres under 7.2.

Under maks-caset vil hovedfokuset være på lastebilene, men vi vil også kort undersøke togene for å se om gjennomløpstiden forandrer seg. Det viktige her vil være å se om togene er ferdig behandlet før avgangstidspunkt, slik at det økte containervolumet ikke medfører forsinkelser i forhold til ruteplanen. For lastebiler er vi interessert i å se om gjennomløpstiden forandrer seg, og om det er noen av de direkte ressursene som fremstår som flaskehalser i systemet.

- **Gitt et containervolum lik togenes kapasitet, vil togenes gjennomløpstid forandre seg på bakgrunn av den økte håndteringen av lastebiler?**
- **Gitt et containervolum lik togenes kapasitet, hva er effekten på lastebilers gjennomløpstid, og fremstår noen av de direkte ressursene som flaskehalser?**

Selv om containervolumet nå er større, og presset i systemet er større, er det interessant å se om det er mulig å redusere antall enheter på togenes direkte ressurser, og på lastebilenes direkte ressurser, gitt maks-caset. Dette forutsetter for øvrig at økningen i containervolumet alene ikke medfører forsinkelser på togene. Vi ser derfor først på om det er mulig å redusere antall ressursenheter som skal behandle tog, og deretter om det er mulig å redusere antall ressursenheter som skal behandle lastebiler. Her må vi vurdere endringene opp mot gjennomløpstiden til både tog og lastebiler, siden vi ønsker å overholde ruteplanen og samtidig tilfredsstille EU-kravet.

- 
- **Gitt at togene skal overholde ruteplanen og lastebilene skal overholde EU-kravet, er det mulig å redusere terminalens ressurser?**

Avslutningsvis ønsker vi også å undersøke effekten av endringer i lastebilenes ankomstrate og variabilitet. Her vil vi fortsette med maks-caset, hvor vi først undersøker effektene av en høyere ankomstrate på lastebilene, for på den måten å presse systemet ytterligere. Igjen må vi undersøke om togene blir forsinket til avgang, og se hvorvidt det oppstår lange gjennomløpstider for lastebilene. Tanken bak eksperimentet er å se hvorvidt flere containere kan behandles av systemet innenfor simuleringstiden, på bakgrunn av mer definerte hente-og leveringstider for lastebilene. For å fullføre dette eksperimentet vil vi også redusere variabiliteten i lastebilenes ankomst. Dette motiveres av at mer definerte hente-og leveringstider for lastebilene, sannsynligvis ville redusert variabiliteten i ankomstene.

- **Gitt en økning i ankomstraten til lastebiler, hva er effekten på togenes og lastebilenes gjennomløpstid, og hva er effekten på kapasitetsutnyttelsen til lastebilers direkte ressurser?**
- **Gitt en økning i ankomstraten til lastebiler, hva er effekten av lavere variabilitet på lastebilenes gjennomløpstid?**

I analysen vil vi ikke besvare spørsmålene direkte, men heller bruke de som en rettesnor for å beskrive systemet gjennom en progressiv analyse.

## 4.2 Forskningsdesign

For å besvare problemformuleringene våre har vi valgt å dele forskningsprosessen inn i tre faser; (1) *utvikle* forståelse for systemet, (2) *innhente* korrekt input til modellen og (3) *modellering*

1. I utviklingsfasen har vi søkt ytterligere dybdekunnskap om Nygårdstangen for å kunne hente inn korrekt input (data til modellen), og for å forstå systemet godt nok til å modellere det. Vi har derfor benyttet oss av kvalitative metoder. Designet under denne fasen har vært eksplorativt, siden formålet har vært å få inngående kjennskap til systemet.
2. I input-fasen har vi vært opptatt av å samle inn kvantitative data, innhentet på dager

som er representative i forhold til de forskjellige aktivitetene. Her har målet vært å få så mange observasjoner av de ulike aktivitetene som vårt eget tidsskjema tillater. I denne fasen har designet vært deskriptivt, siden vi ønsker å beskrive systemet realistisk.

3. I modelleringsfasen har vi vært opptatt av å utvikle en realistisk modell over Nygårdstangen. I denne fasen har vi benyttet informasjonen innhentet i de tidligere fasene og skapt en modell som er egnet til å beskrive ytelsen til systemet. Det har for øvrig vært nødvendig å ta noen avgrensninger, som blir beskrevet nærmere under 5.6.

### 4.3 Datainnsamling

Datainnsamlingen har vært gjennomført med bruk av forskjellige kvalitative og kvantitative metoder, kalt sekvensiell multi-fase metodekombinering, som involverer mer enn én fase med datainnsamling. I dette designet vil forskeren først bruke en metode, etterfulgt av en annen, for å kunne utvide og utdype funnene i den første datainnsamlingen (Saunders et al., 2016).

Datamaterialet er hovedsakelig innhentet fra RailCombi og deres operasjoner, men vi har også samlet inn data på containertrafikk fra Green Cargo, Autolink AS og Auto Transport Service AS. Grunnen til at vi har fokusert på RailCombi, er fordi de benytter et ERP-system som gjør det mulig å samle inn ankomstdata på lastebiler enklere, samt av sikkerhetshensyn, siden RailCombi har et større areal å håndtere containere på enn Green Cargo. Siden Green Cargo betjener det samme markedet med det samme håndteringsutstyret, og vi kjenner ruteplanen deres, antar vi at ankomstratene og håndteringstidene vil være like for de to terminaloperatørene.

Datainnsamlingen startet med litteratursøk og dybdeintervjuer i januar-februar 2017, hvor målet var å opparbeide oss en grundig og detaljert forståelse for systemet. Når vi følte at vi hadde et tilstrekkelig grunnlag for å kunne utvikle modellen, startet vi med å innhente kvantitative data. Under den kvantitative datainnsamlingen ble vi bevisst på nye forhold som var avgjørende for modellutviklingen, og som skapte et behov for å gjennomføre ytterligere kvalitative intervjuer. Dette mønsteret har gjentatt seg flere ganger i løpet av datainnsamlingen.

---

### 4.3.1 Kvalitativ metode

De kvalitative dataene som er innsamlet består av primærdata fra dybdeintervjuer og sekundærdata fra litteratursøk. Dataene er hovedsakelig brukt til å utvikle caset og modellen, selv om den kvantitative datainnsamlingen selvfølgelig også hadde stor innvirkning på sistnevnte. Allikevel har vi fått mange modelleringsdetaljer gjennom dybdeintervjuene og artiklene gjengitt under 3.3.

#### 4.3.1.1 Litteratursøk

Litteratursøket i denne utredningen har vært omfattende, og startet allerede under den innledende studien høsten 2016. Først startet vi med å undersøke data konkret rettet mot Nygårdstangen og Bergensbanen, og deretter flyttet fokuset seg mot simulering av jernbaneterminaler. Her startet vi også med dybdeintervjuene, slik at vi fikk en dypere innsikt i hvordan vi skulle modellere systemet, og hva som måtte inkluderes av spesifikke elementer fra Nygårdstangen. Vi opplevde at det var tidkrevende å få en god systemforståelse, men at litteratursøket bidro til å effektivisere prosessen, slik at vi trengte relativt færre dybdeintervjuer.

#### 4.3.1.2 Semistrukturerte dybdeintervjuer

Siden en jernbaneterminale er et stort system areal-messig, og sekundærdata omkring tekniske detaljer på Nygårdstangen er begrenset og ofte noe utdaterte, har vi vært svært avhengige av informasjon som har fremkommet under dybdeintervjuer. Dette gjelder spesielt modelleringsparametre knyttet til terminalens ressurser (herunder hensettingsspor, lastespor og håndteringsutstyr), samt karakteristika ved de ulike togene (snutid, lengde og containertyper). I tillegg har dybdeintervjuene vært viktige for den generelle systemforståelsen.

Totalt har det vært gjennomført fem dybdeintervjuer, i tillegg til samtaler og oppfølgingsspørsmål underveis. To dybdeintervjuer ble foretatt under den innledende studien, mens tre dybdeintervjuer ble foretatt under denne utredningen. Vidar Veka, terminalsjef ved RailCombi, var intervjuobjektet under den innledende studien, mens Kjell Nilsen, stedfortreder for Vidar Veka, var intervjuobjektet under denne utredningen. Begge intervjuobjektene har over 20 års erfaring på Nygårdstangen respektivt, og er rike på detaljinformasjon omkring systemet. Alle intervjuene har vært semi-strukturerte, og ble

gjennomført i kontorbygget til RailCombi ved Nygårdstangen, med en intervjuguide som ble stadig mer konkret ettersom forståelsen for systemet økte, og behovet for detaljer gjorde seg gjeldende.

Intervjuene av Kjell Nilsen ble gjennomført 09.02.2017, 23.02.2017 og 08.03.2017, men det har vært flere uformelle samtaler og oppfølgingsspørsmål utenom dette også. Han har vært en svært viktig bidragsyter for denne utredningen, og gav oss også tilgang og opplæring i ERP-systemet til RailCombi - GTS. Dette bidro til at vi kunne gjøre modellen mer realistisk, og derfor mer interessant å vurdere opp mot de ulike problemformuleringene.

### **4.3.2 Kvantitativ metode**

De to artiklene gjengitt under 3.3 understreket behovet for å modellere *håndteringen* og *lastebilers ankomst* (både henting og levering). I tillegg har vi sett et behov for å innhente data på *skiftingen* og *containervolum*. Dette fordi skiftingen utgjør en viktig del av systemet, mens containervolumet angir antall lastebiler som ankommer for henting og levering.

Vi har valgt å undersøke tirsdag-torsdag i en normaluke, fordi dette er blant de mest hektiske dagene, men også fordi togparene som går på disse dagene har like ankomst- og avgangstider. Dette faktumet forenkler modelleringen. Peak-load i systemet er på mandager, tirsdager, onsdager og torsdager, men mandager har mye overhengende trafikk fra helgen, samt at ruteplanen er annerledes enn fra tirsdag til torsdag. Utvalget reflekterer også at vi ønsker å undersøke kapasiteten i systemet, og at det derfor er fordelaktig å se på systemet når det er presset.

Totalt er det innhentet kvantitative data på følgende aktiviteter: skifting, håndtering, lastebiler henting, lastebiler levering, ruteplan og avvik fra ruteplan. Disse dataene består både av primærdata og sekundærdata. Primærdata er innhentet gjennom strukturert observasjon, og er knyttet til skifting, håndtering og lastebiler *henting*. Sekundærdataene er innhentet fra punktlighetsleder Bane NOR (ruteplan og avvik fra den) og gjennom RailCombis ERP-system GTS (lastebiler *levering* og containervolum). I tillegg har vi innhentet containervolum fra Green Cargo og bilvolumer fra Auto Transport Service og Autolink.

---

### 4.3.2.1 Primærdata

Terminaloperatørene registrerer ikke prosesseringstiden på de operasjonelle aktivitetene (skifting, håndtering), og det eksisterer derfor ikke sekundærdata i forbindelse med dette. På lastebilers henting av container eksisterer det sekundærdata i GTS, men mange av dataene kan ikke regnes som representative, ettersom vi har fått bekreftet av Kjell Nilsen, samt observert selv, at rutinene for registrering ikke er tilstrekkelige til vårt formål. Dette skapte et behov for å innhente data selv.

Data på de operasjonelle aktivitetene er hentet inn uavhengig av døgn og tid, da tidene vil være like for alle tilfeller, mens data på ankomstraten til lastebiler som skal hente containere vil være avhengig av tid på døgnet. For hvert tog har vi hentet inn data fra tre dager (kun to dager på tog 5519), på følgende datoer: 15.02.17, 23.02.17, 28.03.17, 29.30.17 og 30.03.17.

#### 4.3.2.1.1 Operasjonelle aktiviteter/prosessering

På de operasjonelle aktivitetene er tidsregistreringene foretatt med stoppeklokke på sekund-nivå, siden det vil være små marginer i modellen, spesielt med tanke på håndteringsoperasjoner. Dette fordi håndteringstid per container er kort, det finnes variasjon på sekund-nivå avhengig av type håndteringsutstyr og type container, og antall containere som skal behandles per døgn er høyt.

På skifteoperasjonene har vi totalt 13 observasjoner fra datoene 15.02.2017, 23.02.2017, 29.03.2017, 30.03.2017. Vi har kun observert skifting på innkommende tog, fordi det ved avgang er vanskelig å avgjøre når skiftelokomotivet kobles på (siden det foregår i enden av terminalen). Her startet vi tidtakingen idet godstoget hadde kommet til en fullstendig stans på ankomstsporet, og stoppet tidtakingen idet godstoget hadde kommet til en fullstendig stans på lastesporet. På dette tidspunktet er skiftelokomotivet fortsatt påkoblet, men godstoget er klart for håndtering.

Det finnes tre typer håndteringsoperasjoner på Nygårdstangen: (1) tog-bil, (2) tog-depot, (3) bil-depot, og motsatt. I starten observerte vi alle de seks typene operasjoner, men etterhvert valgte vi å slå sammen de felles typene. Dette gjorde vi for å forenkle datainnsamlingen, siden observasjonene fremstod som relativt like, og effekten i modellen sannsynligvis er minimal.

Under observasjonene var vi utstyrt med forhåndsutførte observasjonsskjemaer, som gjorde registrering og sortering enklere. Start tidtaking ble definert i det truck/reachstacker var

stilt opp foran aktuell container (rett før løftet startet), mens stopp tidtaking ble definert i det truck/reachstacker hadde gjennomført løfteoperasjonen, og var klar til å håndtere neste container. Eventuell kjøring mellom lastebiler er altså ikke inkludert i den effektive prosesseringstiden. Med dagens system vil en reachstacker eller truck bedrive en del kjøring på terminalen, som i høy grad kunne vært redusert dersom lastebilene kom i en mer planlagt og ordnet kø. I tillegg er det vanskelig å klassifisere mye av kjøringen, og det enkleste er derfor å utelukke den. Vi bruker derfor effektiv håndteringstid i modellen. Observasjonene ble registrert på datoene: 13.02.2017, 15.02.2017, 23.02.2017, 29.03.2017 og 30.03.2017.

På håndteringsoperasjonene er det gjort et skille mellom truck og reachstacker, siden håndteringstiden for de tre operasjonene er ulike. I tabell 9 følger en oversikt over antall observasjoner på håndteringstider, fordelt på type håndteringsoperasjon og utstyr:

*Tabell 9 - Antall observasjoner av håndtering*

	<b>Tog-Bil</b>	<b>Tog-Depot</b>	<b>Bil-Depot</b>
<b>Truck</b>	38	32	38
<b>Reachstacker</b>	104	22	56
<b>Totalt antall observasjoner</b>	<b>142</b>	<b>54</b>	<b>94</b>

#### **4.3.2.1.2 Lastebiler henting**

Tomme lastebiler som skal hente innkommende containere blir registrert i det de har ankommet terminalen og stilt seg opp foran aktuell container. Vi har her vært opptatt av å knytte tidspunktet for henting av containere opp mot ankomsten til de spesifikke togene, for å finne eventuelle forskjeller i ankomstrate på lastebiler avhengig av tognummer. Dette fordi lastebiler blir sendt for å hente spesifikke containere (som ankommer med aktuelt tog), hvilket gjør det meningsfullt å måle lastebilers ankomst i forhold til togets ankomst. På den måten kan vi holde kontroll på hvor lang tid en innkommende container tilbringer på terminalen før den blir hentet.



---

Under disse observasjonene har vi hatt utfordringer med både omfanget og tidsperspektivet. Utfordringene skyldes flere forhold: togene er lange (hvilket skaper visuelle problemer) og inneholder mange containere, togene ankommer med korte intervaller om natten, det jobbes på flere lastespor parallelt (med opptil to reachstackere og én truck samtidig), og lastebiler ankommer i klynger. Dette skaper situasjoner i systemet hvor kapasiteten er presset og små køer av lastebiler oppstår. Observasjonene har derfor vært tidvis svært hektiske, og vi har opplevd at det behøves minimum to trente observatører for å kunne registrere gode data.

I tillegg til dette kan containere ofte bli stående enten på toget eller i depot over lang tid. For å få gode datasett per tog, har vi vært avhengige av å kunne redegjøre for hente-tidspunktet til alle containere tilknyttet et tog. Dette, i kombinasjon med den hektiske aktiviteten beskrevet ovenfor, har skapt et behov for å observere hele døgnet, men med det faktum at vi ikke har kunnet dele døgnet mellom oss. Vi løste denne utfordringen ved å kombinere egne observasjoner med registreringer fra GTS, foretatt av de terminalansatte i RailCombi.

Grunnen til at vi har valgt denne løsningen, istedenfor å kun stole på sekundærdata fra GTS, skyldes rutiner hos RailCombi og tekniske begrensninger i GTS. Sentralbordet hos RailCombi er bemannet fra 07-22, og før en terminalansatt kan registrere henting av container (gate ut, container), må toget registreres som ankommet i GTS. Dette kan kun gjøres av sentralbordet, noe som medfører at alle containere som blir hentet før kl 07 ikke blir registrert med korrekt tidspunkt. Containere som blir hentet utenfor sentralbordets åpningstider blir "gatet ut" av enten sentralbordet eller en terminalarbeider, ved at en av de terminalansatte fysisk kontrollerer hvilke containere som er igjen i depotet. De gjenværende containerne i depotet blir deretter kontrollert opp mot toglisten for å avgjøre hvilke containere som har blitt hentet utenfor åpningstidene. Dette gjør at en stor andel containere blir gatet ut i klynger, noe som skaper forstyrrelser i fordelingene knyttet til hentetider. Vår løsning har derfor vært å selv observere alle containere som blir hentet utenfor åpningstiden til sentralbordet, og supplert datasettene til de ulike togene med registreringer foretatt i GTS som vi vet er korrekte i henhold til tid. Dette kommenteres utdypende under 4.5.2.1.

Under observasjonen har vi vært utstyrt med toglistene (en detaljert oversikt over alle containere som befinner seg ombord på de innkommende togene), hvor vi har vært nøye med å registrere tidspunkt for henting av container, knyttet opp mot container-nummeret. Når vi avsluttet observasjonene kontrollerte vi hvilke containere som var igjen i depotet mot toglistene. Vi ventet deretter noen døgn, for å forsikre oss om at alle containerne var blitt

hentet, før vi hentet ut de resterende observasjonene fra GTS. På denne måten fikk vi komplette datasett fra de forskjellige togene.

#### 4.3.2.2 Sekundærdata

##### 4.3.2.2.1 Lastebiler levering

Når lastebiler skal *levere* containere for befraktning Bergen-Alnabru, vil tidspunktet for containerens ankomst registreres enten av truck/reachstacker, eller ved sentralbordet. Denne registreringen skjer uavhengig av sentralbordets åpningstider (07-22). Vi har her innhentet historiske data for lastebilenes ankomst fra tirsdag til torsdag i en normaluke, fordelt på de ulike tognumrene. Dataene ble innhentet på datoene: 02.02.2017, 27.02.2017, 28.02.2017, 01.03.2017 og 02.03.2017. På disse datoene var alle containerne registrert korrekt i henhold til ankomst, og de aktuelle datasettene inneholdt derfor ingen manglende observasjoner. Dette kommenteres utdypende under 4.5.2.1.

##### 4.3.2.2.2 Containervolum

Vi innhentet først historiske data på innkommende og utgående containervolum i perioden 27.02.2017 - 27.03.2017, fra både RailCombi og Green Cargo. Dette gjorde vi for å finne gjennomsnittet av semivogner og standardcontainere, samt gjennomsnittet av det totale containerantallet på de forskjellige togene. I tillegg har vi vært interessert i å se hvor stor andel av det ukentlige containervolumet som går på tirsdager, onsdager og torsdager.

Etter at innsamlingen var ferdig og vi begynte å strukturere dataene opp mot kapasiteten til togene, syntes vi at containervolumene virket noe lave. Vi foretok derfor en ny innsamling av containervolum fra en annen periode, som var mer realistisk. Hos RailCombi fikk vi tilgang på containervolum per uke gjennom 2015, 2016 og 2017, og vi så dermed at 27.02.2017-27.03.2017 var en noe lav periode historisk, preget av streik og innstillinger. Vi valgte derfor å basere oss på containervolum fra 21.03.2017-06.04.2017 (fra både RailCombi og Green Cargo), som viser et høyere og mer normalt aktivitetsnivå frem mot påske. Dette er også mer hensiktsmessig i forhold til problemstillingen.

##### 4.3.2.2.3 Ruteplan og avvik

Ruteplanen og punktlighetsdata er innhentet fra Trond Sunde, punktlighetsleder Bane NOR. Ruteplanen er gjeldende fra 11.12.2016 til desember 2017, mens punktlighetsdata er hentet fra

---

perioden 01.06.2016-10.12.2016. Grunnen til at det kun benyttes punktlighetsdata fra to kvartaler i 2016, er at Green Cargo startet befraktning mellom Alnabru og Bergen i april 2016.

## 4.4 Databehandling

De kvantitative observasjonene ble sortert og lagret i forskjellige datasett ved bruk av Microsoft Excel. Under observasjonen ble både lastebil *levering* og *henting* registrert som henholdsvis “minutter etter midnatt” og “minutter etter ankomst tog”, og disse datasettene ble deretter omgjort til IAT nivå. Skiftetider og håndteringstider ble ikke behandlet utover det nivået de ble registrert under observasjonen.

Datasettene har så blitt behandlet med R-studio, hvor vi har funnet gjennomsnitt, standardavvik, konfidensintervaller og passende fordeling. Siden simuleringsprogrammet aGPSS har et begrenset antall innebygde fordelinger, har vi vært opptatt av å teste de ulike datasettene opp mot Erlang 1-9, samt normalfordelingen, for å gjøre simuleringen mer realistisk. Her har vi kun sammenlignet datasett mot aktuell fordeling visuelt, siden vi uansett har et begrenset antall observasjoner å støtte utsagnene på.

## 4.5 Validitet og reliabilitet

### 4.5.1 Validitet

Hensikten med utredningen er ikke å fastslå kausalitet mellom variabler, eller å kunne generalisere fra funnene til å gjelde andre terminaler. Allikevel vil sannsynligvis en del av innsikten kunne overføres og anvendes til lignende terminal-systemer. Det er derfor mest aktuelt å tenke på validitet i form av hvorvidt en simulering av terminalen gir en god representasjon av det faktiske systemet (og dermed kapasiteten), og hvorvidt vi i denne utredningen klarer å utvikle en modell som representerer systemet på en realistisk måte.

#### 4.5.1.1 Simulering som metode

“A simulation is the imitation of the operation of a real-world process or system over time”.  
(Banks, 1998, s.3)

Mange komplekse systemer vil være vanskelig å beskrive og analysere matematisk, og simuleringermodeller er ofte den eneste måten å undersøke disse systemene på. Ved å bruke simulering vil det være mulig å vurdere ytelsen til systemet under visse antakelser (Ståhl & Born, 2013). Nygårdstangen er et godt eksempel på et slikt system, hvor mange forskjellige faktorer gjør det enklere å redegjøre for ytelsen til systemet via simuleringermodeller. Simulering gjør det også mulig å eksperimentere med systemet ved å endre input variabler, for å studere effekten på output dataene (Ståhl & Born, 2013). Dette er spesielt viktig i forbindelse med kapasitet, fordi ved en simuleringmodell har man mulighet til å utsette systemet for ulikt stress, for å tilslutt observere effekten på ressursutnyttelsen og service-tidene.

Det er viktig å være oppmerksom på at det simulerte systemet gjerne ikke er like realistisk - eller reflekterer nøyaktigheten, til det ekte systemet. Dersom simuleringen ikke viser et realistisk bilde over systemet, vil heller ikke utfallet av simuleringen gi nyttig informasjon om det faktiske systemet. (Law, 2015, s. 71). Det er derfor viktig å begrense antall avgrensninger og å lage en så realistisk modell som mulig, slik at konklusjonene vi trekker fra analysen av output er riktige.

### **Discrete event systems**

Vi definerer tilstanden til et system som samlingen av variabler som er nødvendige for å beskrive et system på et bestemt tidspunkt, relativt til objektene som studeres. Det skilles mellom diskrete (discrete) eller kontinuerlige (continuous) systemer. I et kontinuerlig system vil tilstanden til systemet hele tiden endres med hensyn til tid, på bakgrunn av aktiviteter. Et eksempel er været, som hele tiden forandres på bakgrunn av aktiviteter som forekommer i så små tidsenheter at det er kontinuerlig. I et diskret-hendelse system (discrete event system) vil tilstands-variablene endres på bakgrunn av hendelser som inntreffer på avgrensede tidspunkter. (Law, 2015, s.3) På den måten vil det ikke forekomme noen endringer i systemet mellom tidspunktene, slik at simuleringen kan hoppe direkte i tid fra en hendelse til en annen.

Et godt eksempel på et diskret system er containerinnholdet i depotet, som endres på bakgrunn av hendelser hvor det enten plasseres eller hentes containere i depot. Et annet eksempel er lastesporene, hvor innholdet endres etterhvert som enten et tog kommer inn, eller forlater sporene. Dersom vi skulle grafet innholdet i et av disse systemene over tid, ville vi sett at innholdet kun forandret seg dersom en hendelse inntraff, og grafen ville derfor vært bruddvis, og ikke kontinuerlig.

---

#### 4.5.1.2 Modellens representasjon av systemet

Hvorvidt modellen representerer Nygårdstangen blir behandlet mer detaljert under 5.7. Viktige momenter i forbindelse med datainnsamling for å sikre oppbygning av en valid modell blir kommentert her.

For å lage en god modell av systemet, har det vært viktig med metodetriangulering. Dette fordi det kreves en kvalitativ dybdekunnskap om systemet, samtidig som det kreves en kvantitativ breddekunnskap for å inkludere variasjonen i systemet. Her har også valget av innsamlingsmetode (strukturert observasjon, primærdata) ført til en høyere validitet, ettersom det fremkom at sekundærdataene fra GTS i mange tilfeller ikke var pålitelige. Dette fremkom for øvrig på bakgrunn av dybdeinformasjon som var innsamlet på forhånd, noe som illustrerer poenget med at metodetrianguleringen har gitt utredningen en høyere validitet.

Det overordnede formålet med oppgaven har vært å måle kapasiteten på Nygårdstangen, for å avdekke hvorvidt systemet blir presset av etterspørselen etter befraktning. Det har derfor vært naturlig å undersøke de dagene hvor etterspørselen er størst. Vi har som nevnt valgt å ikke undersøke mandager, fredager, lørdager og søndager, fordi det er andre togavganger, som ville komplisert modelleringen. I tillegg er det lav etterspørsel fra fredag til søndag. Dersom vi hadde samlet data fra hele uken ville det dog gitt et mer komplett bilde av en normaluke, men vi innså at det ville ta for lang tid å samle data for alle dager over flere uker. I tillegg følte vi at det ville være vanskelig å bedømme resultatene fra simuleringen, siden vi da ikke ville få isolert peak-load periodene.

#### 4.5.2 Reliabilitet

Reliabilitet handler om replikering og konsistens (Saunders et al., 2016). Hvis en annen forsker klarer å replikere et tidligere forskningsdesign og får samme resultat er forskningen ansett for å være reliabel (Saunders et al., 2016). Det eksisterer fire trusler mot reliabilitet: deltakerbias, deltakerfeil, forskerbias og forskerfeil (Saunders et al., 2016). Avhengig av hvilken metode som ble brukt i datainnsamlingen, opplevde vi disse truslene i varierende grad. Den største trusselen vi opplevde mot reliabilitet var deltakerfeil, relatert til feilregistreringer foretatt av de ansatte i ERP-systemet. Samtidig har vi opplevd trusler relatert til deltakerbias og forskerfeil.

#### 4.5.2.1 Deltakerfeil

Når lastebiler leverer containere til utgående tog, må de fleste lastebiler registrere seg hos sentralbordet. Tidspunkt for ankomst vil da registreres i ERP-systemet GTS. De kundene (lastebilene) som har faste plasser på et tog, vil for øvrig ikke registrere seg hos sentralbordet, det er da sjåførene sin jobb å registrere når containere leveres. Sjåførene skal også registrere tidspunktet når containere *hentes* fra innkommende tog, slik at de kan “gates ut” fra terminalen (enten via depot, eller direkte fra tog). Her vil imidlertid ikke sentralbordet registrere henting, siden lastebiler kun må registrere seg ved sentralbordet ved levering.

På lastebiler *levering* har vi kun opplevd et par tilfeller hvor registrering ikke var tilfredsstillende utført, mens på lastebiler *henting* har vi hatt behov for å være selektive i hvilke dager vi har innhentet data fra. Problemet skyldes at noen sjåfører rutinemessig registrerer henting, mens andre ikke gjør det. Dette ble avdekket gjennom det siste dybdeintervjuet vi utførte, og her fikk vi også vite at i de tilfellene hvor containere ikke har blitt gatet ut/registrert hentet, vil sentralbordet ta denne oppgaven. Når sentralbordet gjør denne jobben, vil de kommentere gate ut på aktuell container med “nn”, “r” eller lignende. Man vil også se det på tidspunktene for gate ut, siden depotsjekk forekommer i det sentralbordet åpner, og før lunsj. Denne praksisen fører til at mange containere blir gatet ut med omtrent samme tidspunkter.

Siden vi ikke har ønsket å benytte datasett med feilaktige registreringer, har vi valgt å hente data fra forskjellige dager avhengig av tognummer. Vi har kun hentet data fra tirsdag-torsdag, og fra komplette datasett uten missing data (ukorrekte registreringer foretatt av sentralbordet). I realiteten har vi foretatt observasjoner av henting på flere tog enn hva vi har benyttet, men vi har valgt å forkaste et par av datasettene på grunn av ovennevnte utfordring.

#### 4.5.2.2 Deltakerbias

Dersom vi hadde valgt å innhente de kvantitative dataene ved å bruke andre metoder enn strukturert observasjon og tidtaking, ville deltakerbias sannsynligvis vært en stor trussel mot reliabiliteten. I forstudien/semesteroppgaven baserte vi input til modellen på data fra dybdeintervjuene, og vi ser i etterkant at estimatene på eksempelvis håndteringstidene var pessimistiske.

#### 4.5.2.3 Forskerfeil

Vi har gjort noen forskerfeil underveis, hovedsakelig knyttet til datainnsamlingen.

Eksempelvis glemte vi å gjøre lydopptak under det første dybdeintervjuet, noe som medførte at vi sannsynligvis mistet noe informasjon som fremkom, og som vi ble nødt til å spørre om i det neste intervjuet. Vi hadde i utgangspunktet heller ikke planlagt å inkludere skiftingen i modellen, men vi innså underveis at dette var en vesentlig del av kapasiteten på Nygårdstangen terminal, som vi burde modellere. Vi har derfor kun 13 observasjoner av skiftingen, som vi mener er tynt. Likevel ser vi at variasjonen i skiftetidene er lave, og vi ser også at observasjonene stemmer godt med de estimatene vi samlet inn fra dybdeintervjuene.

Før de strukturerte observasjonene startet, følte vi at vi hadde en god oversikt over hva vi skulle måle og hvordan. Dette på bakgrunn av at vi begge har foretatt kartlegging av omfattende prosesser tidligere i forbindelse med bacheloroppgaver. Likevel undervurderte vi intensiteten og den parallelle aktiviteten i systemet. I starten konsentrerte vi oss om håndteringsoperasjonene, men vi prøvde også å registrere lastebilers ankomst, både for henting og levering. Resultatet var at registreringene på håndteringsoperasjonene var gode data, mens data på lastebilers ankomst var mangelfulle. Dette fordi lastebiler ankom både for henting og levering parallelt, og fordi det stod opptil tre tog på lastesporene som ble losset og lastet samtidig. Vi forkastet derfor data på lastebilers ankomst, og bestemte oss for å dele opp de strukturerte observasjonene i etapper, hvor vi fokuserte på hver aktivitet respektivt. Dette medførte at datainnsamlingen tok lengre tid enn planlagt, og at vi ikke fikk like mange observasjoner på de enkelte aktivitetene som vi hadde planlagt.

## 5. Beskrivelse av modell

Modellen er utviklet for å kjøre med en tidslengde på 2 døgn, (for begrunnelse se 5.7.6), og den skal derfor behandle  $8 \cdot 2$  innkommende togpar over denne perioden. Totalt vil det stå igjen 2 tog ved simuleringsslutt, hvor begge har avgangstidspunkt etter at simuleringen er avsluttet. All input til modellen er behandlet i R, og basert på den empiriske datainnsamlingen beskrevet gjennom kapittel 4.

Simuleringen starter klokken 00.00, og avslutter klokken 24.00 etter 2880 minutter. Siden RailCombi har åpent fra 00:00 - 22:00, mens Green Cargo har åpent fra 01:00 - 18:00 tirsdag til torsdag, vil modellen ta hensyn til åpningstidene og stenge de to operatørenes håndteringsoperasjoner i disse tidsrommene. Dette betyr at i løpet av to døgn har Green Cargo en periode på 14 timer (840 minutter) hvor det ikke håndteres noen lastebiler. For RailCombi er det tilsvarende tallet 4 timer (240 minutter)

### 5.1 Ankomst

#### 5.1.1 Generering av tog

Innkommende tog blir generert deterministisk (med bestemte tidspunkter) ut i fra ruteplanen, som er presentert under 2.3.1. I tillegg inkluderer modellen muligheten for at et tog enten kan ankomme tidligere eller senere enn det bestemte tidspunktet. Dette er modellert på bakgrunn av empiriske data, som er presentert i tabell 10.

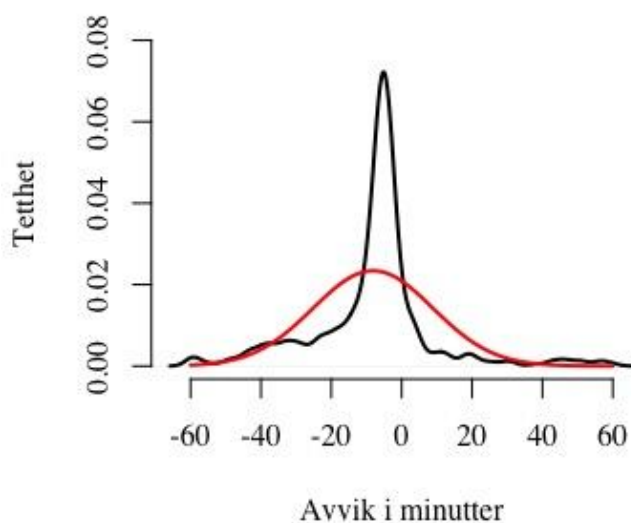
Oversikten viser punktlighetsdata for togene som *ankommer* Nygårdstangen tirsdag-torsdag, fra perioden juni-desember 2016.



Tabell 10 - Punktlighetsdata

	5501	5505	5507	5511	5515	5519	4843	4849
Totalt antall dager	83	83	83	83	83	83	83	83
Antall observasjoner	39	41	70	79	76	55	82	57
Forsinket	10	7	7	14	11	12	22	4
Tidlig ankomst	29	32	32	65	64	43	60	52
Presis		2	1		1			1
Prosent forsinket	26 %	17 %	10 %	18 %	14 %	22 %	27 %	7 %
Prosent tidlig ankomst	74 %	78 %	46 %	82 %	84 %	78 %	73 %	91 %
Gjennomsnittlig forsinkelse i min	44,70	21,71	35,00	69,29	79,64	61,75	63,36	13,00
Gjennomsnitt tidlig ankomst i min	9,79	6,44	4,77	15,35	12,28	24,44	13,23	17,31
Standardavvik forsinkelse	95,09	37,84	25,26	107,03	101,01	114,14	104,28	11,34
Standardavvik tidlig ankomst	9,22	18,4	1,40	12,77	12,34	13,06	9,30	21,66

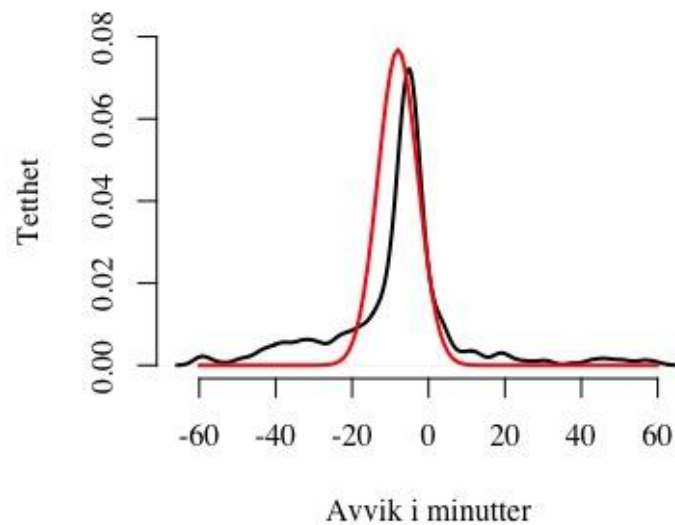
Siden datasettet avvik fra ruteplan (vedlegg 10) inneholder en del ekstreme avvik, som kan skyldes uforutsette hendelser på jernbanelinjen, har vi valgt å avgrense datasettet, noe som blir beskrevet nærmere under 5.6.6. Dette betyr at datasettet som er brukt som input til modellen er basert på alle avvik fra ruteplanen som har en tid i intervallet (-60,60), hvor 0 er rutetabellens ankomsttidspunkt.



Figur 18 - Avvik fra ruteplan

Som figur 18 viser er ikke normalfordelingen en helt god tilnærming, siden tettheten i det empiriske datasettet er høyere. Med en normalfordeling lik figur 18 får vi et gjennomsnitt på -8 minutter, og et standardavvik på 17,3 minutter. Siden dette ville gitt en for stor spredning i forhold til de faktiske avvikene, har vi beholdt snittet, men valgt å krympe variasjonen i standardavviket. I figur 19 har vi krysset standardavviket med en faktor på 0,3. Vi ser da at vi får en bedre tilpasning til det empiriske datasettet, og modellen vil derfor generere tog med

et avvik på gjennomsnittlig -8 minutter, og et tilhørende standardavvik på 5,19 minutter, som er normalfordelt.



Figur 19 - Avvik fra ruteplan justert

### 5.1.2 Inngående containervolum

Togene har forskjellig lengde og kapasitet, som er gitt deterministisk, og beskrevet under 2.3.2. Det tilhørende containervolumet på hvert tog er også gitt deterministisk (se vedlegg 9). Tabell 11 viser maks kapasitet på togene samt antall containere som er henholdsvis 1 TEU og 2 TEU (standardcontainer og semivogn). I tillegg viser den togets kapasitetsutnyttelse i prosent. Siden oppgaven ikke tar for seg bilvogner, vil kapasiteten til toget være basert på containerkapasiteten. Dette beskrives nærmere under 5.6.5.

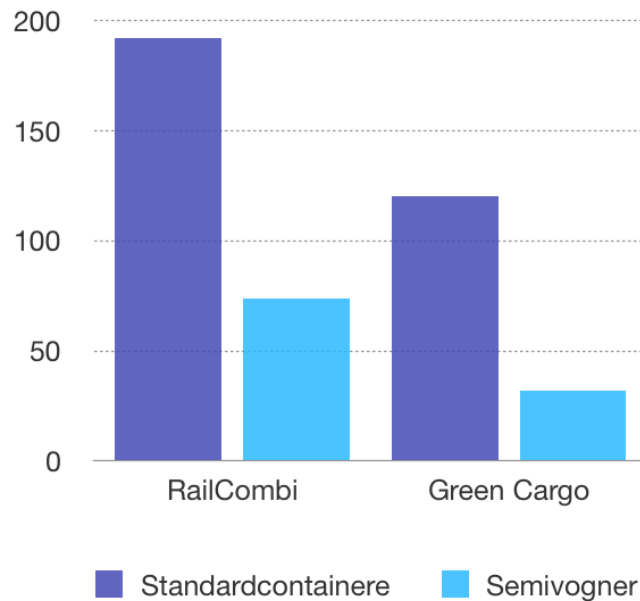
Tabell 11 - Inngående containervolum

Tognummer	Maks kapasitet (TEU)	1-TEU	2-TEU	Normalt volum (TEU)	Kapasitetsutnyttelse (%)
4843	52	29	10	49 (29+10*2)	94,2 %
5501	30	12	8	28 (12+8*2)	96,7%

<b>5511</b>	50	23	6	35 (12+6*2)	70 %
<b>5519</b>	28	15	5	25 (15+5*2)	89,3 %
<b>4849</b>	52	35	6	47 (35+6*2)	90,4%
<b>5515</b>	42	19	7	33 (19+7*2)	78,6 %
<b>5505</b>	42	14	7	28 (14+7*2)	66,7%
<b>5507</b>	42	13	4	21 (13+4*2)	50 %
<b>Total</b>	<b>338</b>	<b>160</b>	<b>53</b>	<b>266</b>	<b>78,7 %</b>

Vi skiller nedenfor mellom antall containere og containervolum (TEU). Forskjellen er at modellen må generere lastebiler tilsvarende containerantallet, siden noen av containerne er 2 TEU, men trenger kun én lastebil. TEU er for øvrig den vanlige benevnelsen for å oppgi kapasitet på både terminal og de ulike togene, men det er viktig å påpeke at det er et skille.

Totalt skal RailCombi losse 133 containere per døgn, fordelt på 96 standardcontainere og 37 semivogner. Dette utgjør totalt 170 TEU. Green Cargo skal losse 80 containere per døgn, fordelt på 64 standardcontainere og 16 semivogner. Dette utgjør totalt 96 TEU, slik at terminalen har et samlet inngående containervolum på 266 TEU per døgn. Siden modellen kjører i en tidslengde på 2 døgn, skal RailCombi losse 266 containere (340 TEU), mens Green Cargo skal losse 160 containere (192 TEU). Totalt skal begge operatørene losse 426 containere i løpet av simuleringen, som utgjør 532 TEU. Dette vises i figur 20.



Figur 20 - Inngående containerantall

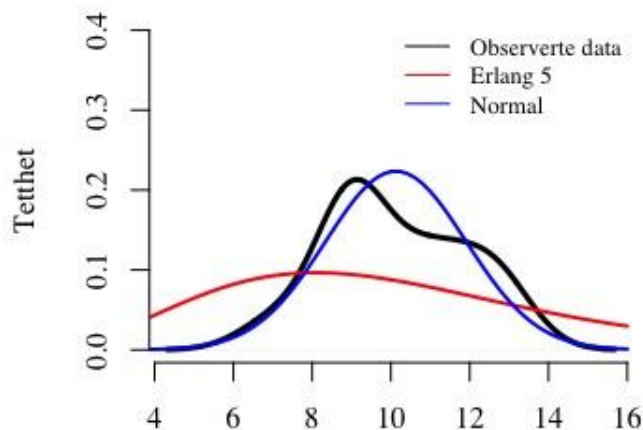
### 5.1.3 Sporvalg og skifting

I modellen er ankomst- og avgangssporet (8) er definert med en kapasitet på 1, siden sporet kun har kapasitet til å ta ett tog uavhengig av størrelse. Det samme gjelder for hensettingssporet/avgangssporet (9).

Hos RailCombi finnes det to lange spor (60 TEU), og ett kort (48 TEU), med total kapasitet på 168 TEU. I modellen blir disse definert som lagre, med kapasitet 1 på det korte sporet, og kapasitet 2 på det lange sporet. Modellen hensyntar for øvrig at tog med lengde og kapasitet over 48 TEU kun kan gå til det lange sporet, mens tog med kapasitet under 48 TEU kan bruke både de lange og det korte sporet, men vil prioritere det korte sporet. Green Cargo har en samlet total kapasitet på lastesporene på 104 TEU, og i modellen har vi definert dette som et lager med kapasitet 2.

Når det gjelder skifting av spor har vi tatt utgangspunkt i tiden det tar å skifte et helt tog fra spor 8 eller 9, og til et av lastesporene. Vi har derimot ikke gjort et skille mellom de ulike lastesporene, da det vil være minimale forskjeller på sekundnivå. Basert på de empiriske dataene (vedlegg 11) er skiftingen tilnærmet normalfordelt, med et snitt på 10,13 minutter og

et standardavvik på 1,79 minutter. Figur 21 viser hvordan de empiriske dataene passer til normalfordelingen og Erlang 5.



Figur 21 – Skifting

## 5.2 Lossing

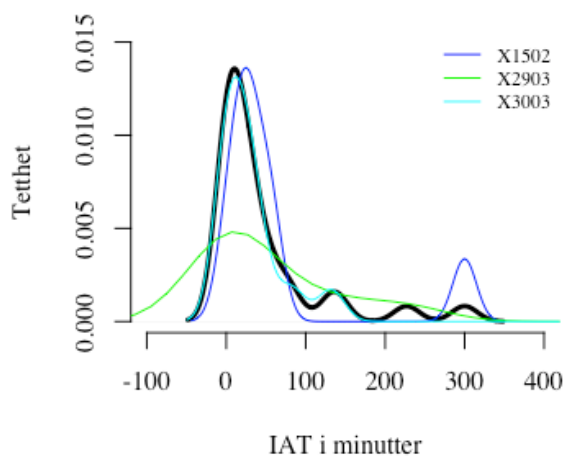
Når et tog har blitt skiftet fra spor 8 til et lastespor, vil lossingen starte. Lastebilene som skal hente containere vil nå ankomme i henhold til de empiriske fordelingene som presenteres under. Dette betyr at lastebilenes ankomstrate vil være lik gjennomsnittet til det aktuelle toget. Gjennomsnittet til det aktuelle toget er igjen gitt fra en sammenfatning av de individuelle datasettene vi samlet inn på hvert tognummer.

Siden det er forholdsvis stor variasjon i forhold til gjennomsnittet på de ulike tognumrene, har vi definert intervaller i de sammenfattede datasettene, for å finne en passende fordeling som representerer variasjonen på en god måte. På hvert datasett har vi vurdert hvilke observasjoner som er ekstreme, og holdt disse utenfor for å finne en passende fordeling. De ekstreme observasjonene var typisk containere som ble hentet sent, og som gjerne sto i depot på terminalen over flere døgn. Vi ønsket for øvrig å inkludere muligheten for at en lastebil hentet en container sent, og vi fant derfor sannsynligheten for at en lastebil ville ankomme utenfor det definerte intervallet, og forsinket disse lastebilene med gjennomsnittet av ekstremverdiene. Her valgte vi å ikke inkludere en fordeling på ekstremverdiene, siden det i mange tilfeller kun var snakk om én eller to ekstremobservasjoner på de ulike datasettene. Vi hadde derfor ikke grunnlag for å anta en fordeling på ekstremverdiene. For å se de ulike datasettene i sin helhet,

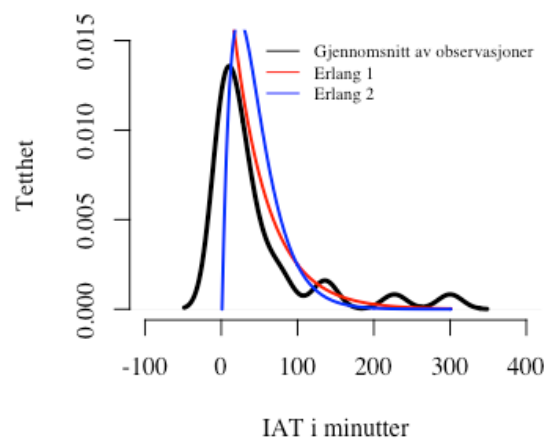
se vedlegg 1. Her presenteres også minimum, maksimum og medianverdier knyttet til de ulike datasettene. For å se primærdataene, se vedlegg 12

### 5.2.1 Tognummer 5501

I datasettet til tognummer 5501 finnes det to observasjoner på 1386 minutter og 10056 minutter, som regnes som ekstreme. Grafene under er derfor basert på alle observasjoner under 400 minutter i datasettet.



Figur 23 - Datasett tognummer 5501.



Figur 22 - Sammenligning med fordelinger 5501

I figur 22 representerer den svarte tykke linjen i midten snittet av alle observasjoner på de individuelle togene, mens blå, grønn og cyan viser hvordan observasjonene fra de forskjellige dagene fordeler seg i forhold til snittet. I figur 23 sammenlignes gjennomsnittet av datasettene med kjente fordelinger.

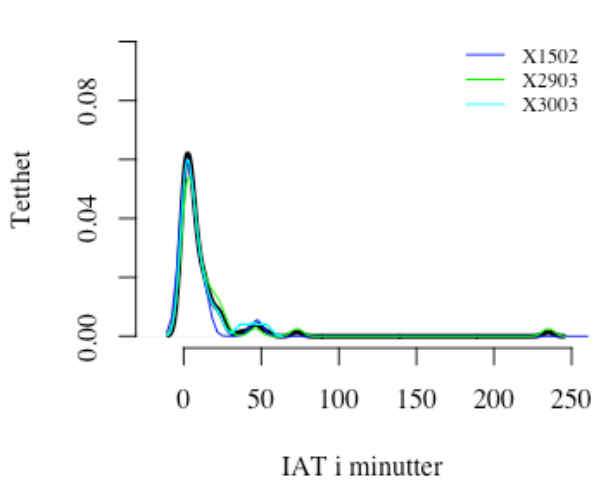
Tabell 12 - Observasjoner av lastebiler ankomst tognummer 5501

Observasjoner under 400 minutter			Observasjoner over 400 minutter	
Gjennomsnitt	Standardavvik	Fordeling	Sannsynlighet	Gjennomsnitt
45,43 min	70,31 min	Erlang 1	6,25 %	5721 min

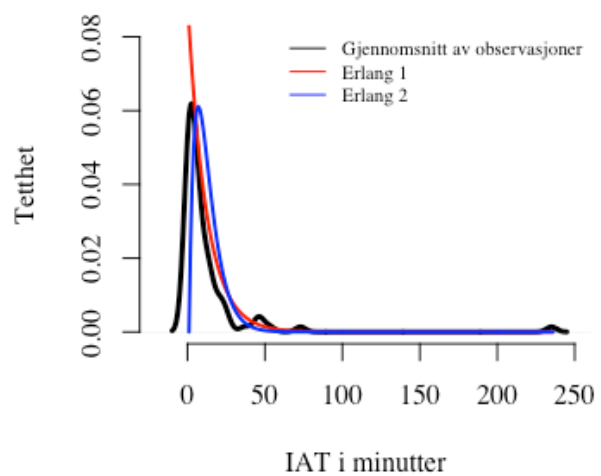
Tognummer 5501 er det første natt/morgen-toget som ankommer. Dette gjenspeiles i en middels lav ankomstrate, og et middels bredt standardavvik. På ekstremverdiene inneholder datasettet én container som tilbringer lang tid på terminalen, og som medfører at snittet på ekstremverdiene blir forholdsvis høyt.

## 5.2.2 Tognummer 5511

I datasettet 5511 finnes det én ekstremverdi på 1646 minutt. Grafene under er basert på alle observasjoner under 250 minutter.



Figur 25 - Datasett tognummer 5511



Figur 24 - Sammenligning med fordelinger 5511

Tabell 13 - Observasjoner av lastebilers ankomst tognummer 5511

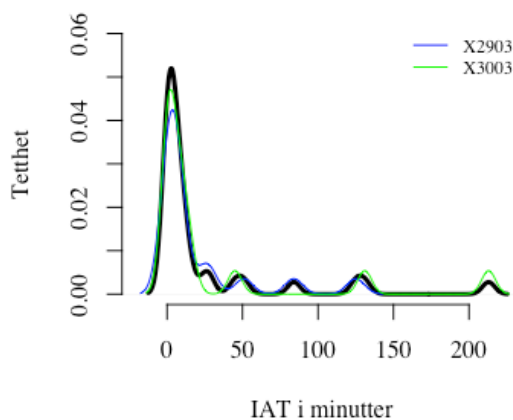
Observasjoner under 250 minutter			Observasjoner over 250 minutter	
Gjennomsnitt	Standardavvik	Fordeling	Sannsynlighet	Gjennomsnitt
12 min	27,41 min	Erlang 1	1,12 %	1646 min

Tabell 13 viser at ankomstraten for lastebiler er høy sammenlignet med tog 5501, og at det tilhørende standardavviket er relativt lavt. Datasettet inneholder flere observasjoner enn tog

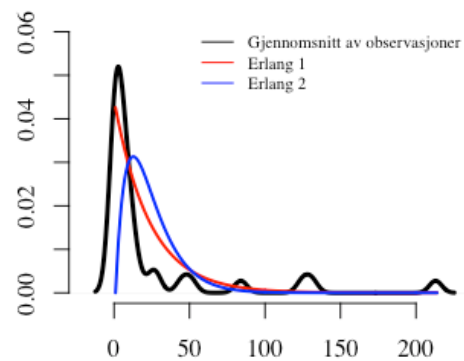
5501, og siden vi kun har én observasjon utenfor det definerte intervallet, er sannsynligheten for å få en treg levering lavt på dette toget.

### 5.2.3 Tognummer 5519

Tognummer 5519 har ingen ekstremverdier, siden største verdi er 213 min, og grafene under viser derfor hele datasettet.



Figur 27 - Datasett tognummer 5519



Figur 26 - Sammenligning med fordelinger 5519

Tabell 14 - Observasjoner av lastebilers ankomst tognummer 5519

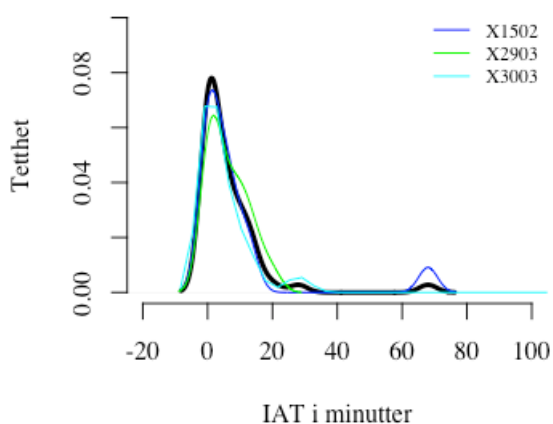
Gjennomsnitt	Standardavvik	Fordeling
23,38 min	46,33 min.	Erlang 1

Sammenlignet med 5511 ser vi at ankomstraten er lavere, mens standardavviket er høyere på tog 5519. På figur 26 ser vi også at tettheten i datasettet er lavere, og at det er større variabilitet i lastebilenes ankomst.

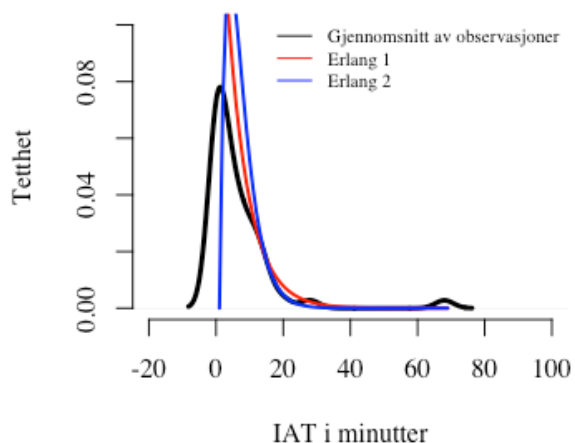


## 5.2.4 Tognummer 5515

Tognummer 5515 har én ekstremverdi på 1898 minutter, mens de resterende observasjonene i datasettet er under 70 minutter.



Figur 29 - Datasett tognummer 5515



Figur 28 - Sammenligning med fordelinger 5515

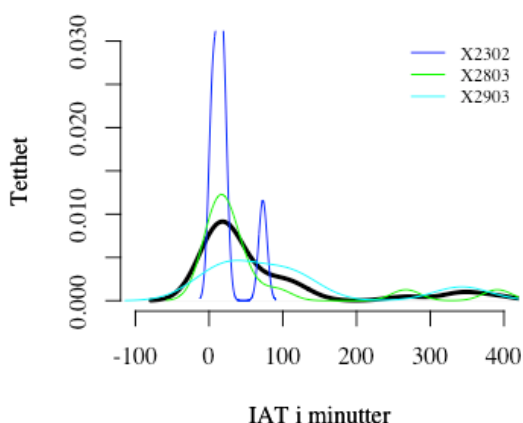
Tabell 15 - Observasjoner av lastebilers ankomst tognummer 5515

Observasjoner under 70 minutter			Observasjoner over 70 minutter	
Gjennomsnitt	Standardavvik	Fordeling	Sannsynlighet	Gjennomsnitt
6,34 min	10,53 min	Erlang 1	1,85 %	1898 min

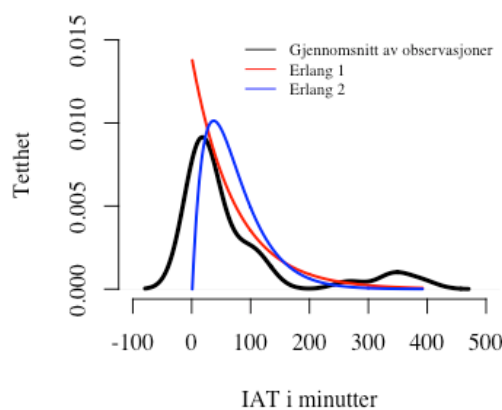
Tog 5515 har som fremkommer i tabell 15, den høyeste ankomstraten av lastebiler og det minste standardavviket. Vi ser også at tettheten i datamaterialet i figur 28 er høy, og at variasjonen er lav. Fra dybdeintervjuene vet vi også at 5515 er det mest populære toget blant kunder, og det har også en høyere pris enn de andre togene. Dette kan forklare hvorfor containerne blir hentet relativt raskt, da man kan anta at det er hastegods som fraktes med dette toget.

## 5.2.5 Tognummer 5505

I datasettet til tognummer 5505 er det to observasjoner på 1407 og 1438 minutter. Disse blir regnet som ekstreme for å finne riktig fordeling, og grafene under er derfor basert på alle observasjoner i datasettet under 400 minutter.



Figur 30 - Datasett tognummer 5505



Figur 31 - Sammenligning med fordelinger 5505

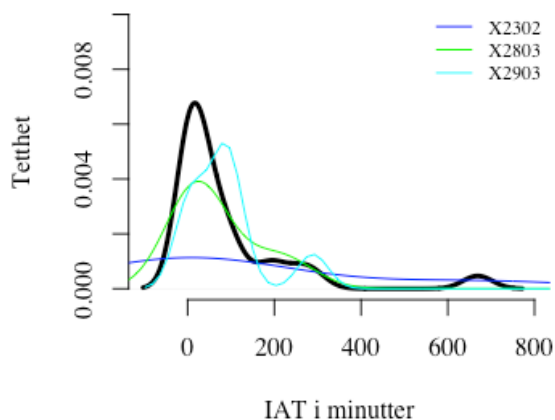
Tabell 16 - Observasjoner av lastebilers ankomst tognummer 5505

Observasjoner under 400 minutter			Observasjoner over 400	
Gjennomsnitt	Standardavvik	Fordeling	Sannsynlighet	Gjennomsnitt
72,63 min	106,5 min	Erlang 1	5,7 %	1423 min

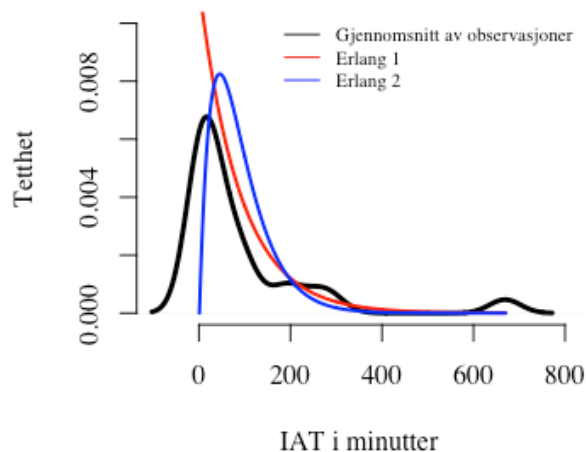
Tognummer 5505 er det første kveldstog som ankommer. Vi ser her at dette toget har en lavere ankomstrate av lastebiler, og at standardavviket er høyere enn for morgentogene. Dette kan forklares med faktorer som at kveldstogene 5505 og 5507 er mindre ettertraktet hos kundene (og derfor inneholder mindre hastegods), men vi vet også at terminalen stenger fra 22:00-00:00, noe som følgelig påvirker ankomstene i høy grad.

## 5.2.6 Tognummer 5507

I datasettet til tognummer 5507 finnes det tre ekstreme observasjoner over 700 minutter; 1507, 4686 og 8887 minutter. Grafene under er basert på alle observasjoner under 700 minutter.



Figur 33 - Datasett tognummer 5507



Figur 32 - Sammenligning med fordelinger 5507

Tabell 17 - Observasjoner av lastebilers ankomst tognummer 5507

Observasjoner under 700 minutter			Observasjoner over 700 minutter	
Gjennomsnitt	Standardavvik	Fordeling	Sannsynlighet	Gjennomsnitt
89,16 min	146,47 min	Erlang 1	10,715%	5026 min

Tog 5507 er det siste toget som ankommer terminalen før stengetid, og dette påvirker følgelig ankomstene til lastebilene i høy grad. I tillegg er det et kveldstog, og det er derfor lavere priset på grunn av lavere etterspørsel. Videre ser vi at sannsynligheten for en sen lastebil er høy, og at det tilhørende gjennomsnittet på ekstremverdiene er høyt.

## 5.2.7 Green Cargo

Siden vi ikke har samlet inn data på lastebilers ankomst i forbindelse med de to Green Cargo-togene, vil vi anta at lastebilene har lik fordeling som de nærmeste aktuelle RailCombi-togene, med tanke på ankomsttidspunkt. Dette betyr at lastebiler som skal hente containere på tog 4843 har lik fordeling av ankomster som tog 5501, og at tog 4849 er likt tog 5519. Dette gjelder også for sannsynligheten for ekstremverdier, og gjennomsnittet av disse.

## 5.3 Håndtering av containere

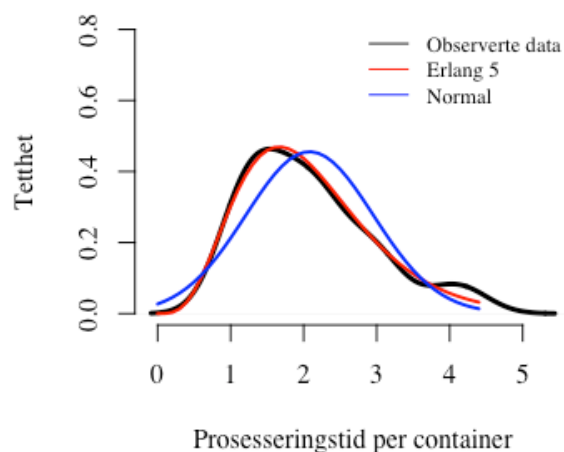
Containerne på Nygårdstangen håndteres med både truck og reachstacker. Semivogner kan kun håndteres med reachstacker, mens standardcontainere kan håndteres av både truck og reachstacker. Primærdataene kan sees i vedlegg 11.

På standardcontainere skilles det mellom tre håndteringsoperasjoner: tog-lastebil, tog-depot, og depot-lastebil. På semivogner finnes det kun ett type løft, selv om det teknisk kan skilles mellom tog-lastebil og tog-depot. Dette fordi semivogner plasseres på egne fastmonterte hjul på bakken, og kan hentes av lastebilene uten hjelp fra reachstacker. Vi antar for øvrig at løftene er like, og at det derfor kun er ett type løft på semivogner.

### 5.3.1 Reachstacker

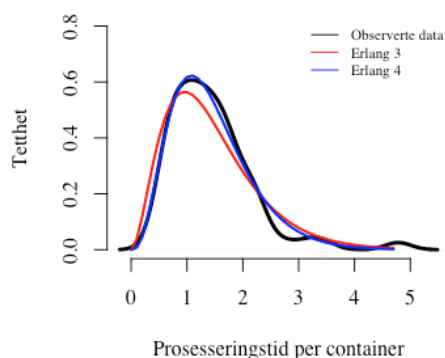
#### 5.3.1.1 Semivogn

Datasettet på håndtering av semivogner er best tilpasset en Erlang 5-fordeling, med et gjennomsnitt på 2,08 minutter og et standardavvik på 0,88 minutter.

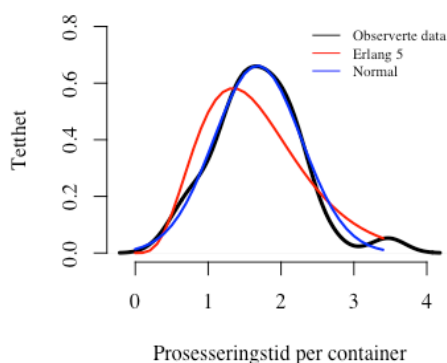


Figur 34 - Sammenligning med fordelinger reachstacker

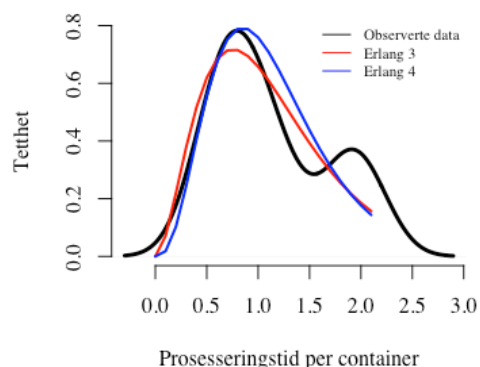
### 5.3.1.2 Standardcontainer



Figur 37 - Sammenligning med fordelinger tog/lastebil



Figur 36 - Sammenligning med fordelinger tog/depo



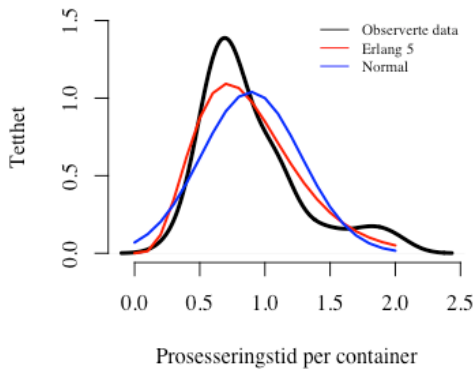
Figur 35 - Sammenligning med fordelinger depot/lastebil

Tabell 18 - Data på håndteringstider reachstacker

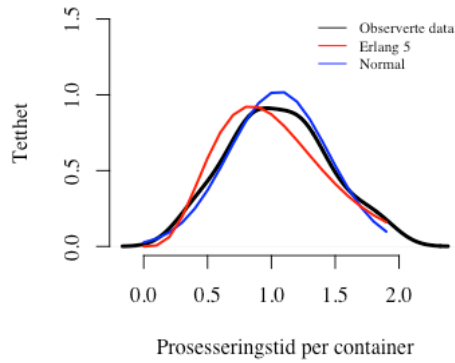
Type løft	Tog-Lastebil	Tog-Depot	Depot-Lastebil
Fordeling	Erlang 4	Normalfordeling	Erlang 4
Gjennomsnitt	1,44 minutter	1,68 minutter	1,13 minutter
Standardavvik	0,74 minutter	0,60 minutter	0,55 minutter

Datasettet for reachstacker og standardcontainere viser at det raskeste løftet er depot-lastebil, og at tog-depot er det tregeste løftet. Vi ser for øvrig på figur 37 at Erlang 4-fordelingen ikke er en fullgod tilnærming, siden observasjonene av dette løftet utviser større variabilitet enn fordelingen vil gi.

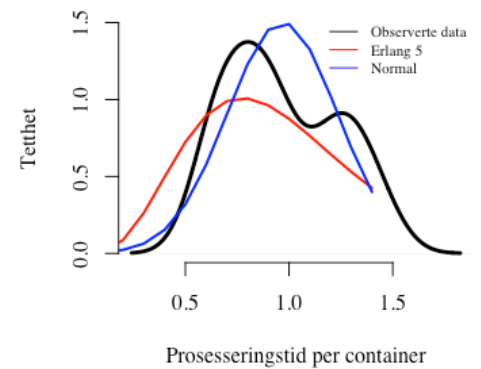
### 5.3.2 Truck



Figur 40 - Sammenligning med fordelinger tog/lastebil



Figur 38 - sammenligning med fordelinger tog/depot



Figur 39 - Sammenligning med fordelinger depot/lastebil

Tabell 19 - Data på håndteringstider truck

Type løft	Tog-Lastebil	Tog-Depot	Depot-Lastebil
Fordeling	Erlang 5	Normalfordeling	Erlang 5
Gjennomsnitt	0,89 minutter	1,06 minutter	0,97 minutter
Standardavvik	0,34 minutter	0,39 minutter	0,27 minutter

Som figur 40 viser passer ikke Erlang 5- fordelingen veldig godt til depot-lastebil, men normalfordelingen er heller ingen god tilpasning, siden observasjonene har større variabilitet enn sistnevnte fordeling vil gi. Dataene viser for øvrig at truck er raskere enn reachstacker på samtlige løft, men at fordelingene er relativt like, med lavere variasjon på truck. Ved truck er direkte overføring mellom tog og lastebil det raskeste løftet, mens ved reachstacker er depot-lastebil det raskeste løftet.

### 5.3.3 Depot

Modellen inneholder åtte depoer, hvor fire er relatert til lossing, mens fire er relatert til lastning. Det skilles mellom RailCombi og Green Cargo sine depoer for standardcontainere og

---

semivogner (totalt fire), og innbyrdes mellom lossing og lasting. I virkeligheten har de to operatørene kun ett depot for semivogner og ett depot for standardcontainere hver. Grunnen til at vi har valgt å skille mellom lossing og lasting, er fordi håndteringsutstyret skal overføre containere *til depot* ved lossing, mens håndteringsutstyret skal overføre containere *fra depot* ved lasting. Ved å skille depotene på denne måten ble modelleringen enklere, og modellen mer oversiktlig.

Modellen vil hvert minutt sjekke om det er containere som skal losses fra depot til lastebiler. Her vil modellen først undersøke om det er lastebiler som venter på å hente containere, og deretter om det er containere i depot som trenger å losses på bil. Dersom begge tilfellene er sanne, vil modellen starte lossing fra depot til lastebil.

Når det gjelder lastedepotet vil modellen hvert minutt sjekke om det er noe som skal lastes fra depot til tog. Modellen vil først undersøke om det er containere i depot som skal lastes på tog, og deretter søke etter tog som lasten kan plasseres på. Containerne vil deretter plasseres på beste tog med hjelp av håndteringsutstyret.

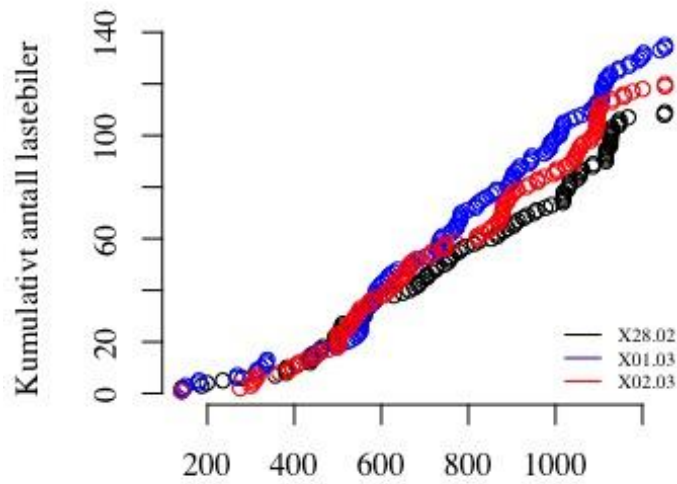
## 5.4 Lasting

Lastebilene som skal levere containere til togene ankommer kontinuerlig gjennom døgnet. På Nygårdstangen får lastebilene komme på det første ledige toget, selv om plass er booket på et senere tog. Modellen vil derfor kontinuerlig laste containere enten direkte fra innkommende lastebiler eller fra depot, dersom ett tog står på lastesporet og har ledig kapasitet. Hvis det ikke finnes ledig plass på tog når lastebilen ankommer, vil containeren plasseres i depot. Modellen vil derfor ikke hensynta eventuell booking og prioritering på containere. Dette forklares mer utdypende under avgrensninger 5.6.3.

### 5.4.1 Lastebilers ankomst

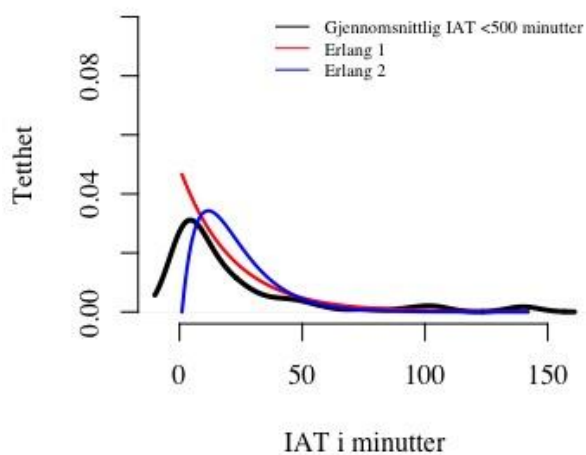
Lastebilenes ankomst baserer seg på de empiriske dataene vi har samlet inn fra 28.02.17, 01.03.17 og 02.03.17. Vi har her delt datasettet i observasjoner over og under 500 minutter, siden alle de tre døgnene viser en økende ankomstrate fra ca 500 minutter (kl. 08:20) etter midnatt, som vist på figur 41 (se vedlegg 2). Når klokken igjen blir 00:00 i døgn to vil

ankomstraten synke til det lavere nivået igjen, før den på nytt vil øke fra 08:20 og frem til modellen slutter.

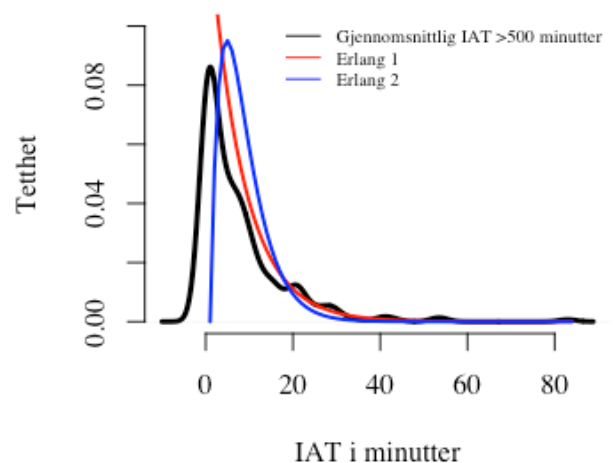


Figur 41 - Datasett lastebiler levering

For at modellen skal generere lastebiler som leverer containere, har vi valgt å sammenfattet de tre datasettene og basere oss på et snitt. På figur 42 og 43 ser vi at begge datasettene er nærmest Erlang 1 fordelingen, men at tettheten (og dermed ankomstraten) er høyere for lastebiler som ankommer over 500 minutter etter midnatt.



Figur 43 - Observasjoner under 500 minutter



Figur 42 - Observasjoner over 500 minutter



I modellen vil lastebiler som ankommer før 08:20 ha en gjennomsnittlig ankomstrate på 21,45 minutter, mens lastebiler som ankommer etter kl 08:20 vil ha en gjennomsnittlig ankomstrate på 7,73 minutter. Begge datasettene har variasjon lik Erlang 1 (eksponential)-fordelingen.

*Tabell 20 - Observasjoner lastebilers ankomst levering*

Observasjoner under 500 minutter		Observasjoner over 500 minutter	
Gjennomsnitt	Standardavvik	Gjennomsnitt	Standardavvik
21,45	31,5 minutter	7,73 minutter	10,12 minutter

## 5.4.2 Utgående containervolum

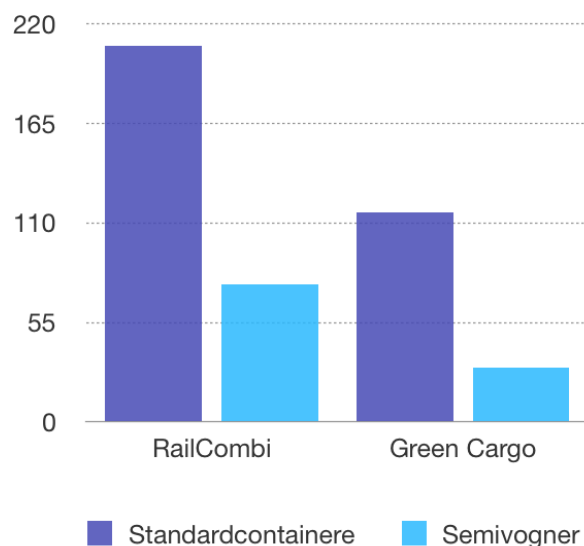
I tabell 21 følger en oversikt lik 5.1.2 over det utgående containervolumet. Togenes kapasitet vil være lik de inngående togene, og de forskjellige togparene kan ses under 2.3.1. Primærdataene kan sees i vedlegg 9.

*Tabell 21 - Utgående containervolum*

Tognummer	Maks kapasitet (TEU)	1-TEU	2- TEU	Normalt volum (TEU)	Kapasitetsutnyttelse (%)
4844	52	31	10	51 (31+10*2)	98 %
5506	30	8	2	12 (8+2*2)	40 %
5504	50	22	5	32 (22+5*2)	64 %
5518	28	16	4	24 (16+4*2)	85,7 %
4842	52	27	5	37 (27+5*2)	71,1 %
5510	42	18	12	42 (18+12*2)	100 %

<b>5512</b>	42	18	5	28 (18+5*2)	66,7 %
<b>5508</b>	42	22	10	42 (22+10*2)	100 %
<b>Total</b>	<b>338</b>	<b>162</b>	<b>53</b>	<b>268</b>	<b>79,6 %</b>

RailCombi har et totalt gjennomsnittlig antall utgående containere per døgn på 142 , som utgjør 180 TEU. Av dette er 104 standardcontainere og 38 semivogner. Green Cargo har et totalt gjennomsnittlig antall utgående containere per døgn på 73, som utgjør 88 TEU. Av dette er 58 standardcontainere og 15 semivogner. Over to døgn utgjør dette 430 containere, som tilsvarer 536 TEU. Modellen vil derfor generere 430 lastebiler som skal levere containere til de utgående togene.



*Figur 44 - Utgående containerantall*

For å fordele lastebilene mellom de to terminaloperatørene, vil modellen sende 66 % av lastebilene til RailCombi, og 34 % av lastebilene til Green Cargo. Deretter vil modellen skille mellom standardcontainere og semivogner. Siden 75 % av det totale containervolumet er standardcontainere (mens 25 % er semivogner), vil modellen tilfeldig (random) generere enten en standardcontainer eller semivogn basert på sannsynlighetene.

## 5.5 Avgang

### 5.5.1 Holde igjen togene til avgangstidspunkt

Hvert tog har en bestemt avgangstid i ruteplanen, uavhengig av hvor lang tid som brukes i forbindelse med håndteringen av containere. Selv om toget er ferdig håndtert (losset og lastet) i god tid før avgang, vil toget fortsatt legge beslag på lastesporet det står på frem til avgangstidspunkt. Dersom det fortsatt lastes til toget ved avgangstidspunkt, vil modellen avslutte lastingen og gå til avgang. Det overordnede er derfor avgangstidspunktet, og modellen vil aldri fravike dette.

Dersom et tog er ferdig losset og lastet, og enten har over 50 minutter (kort spor) eller over 300 minutter (langt spor) til avgang, vil modellen sende toget til spor 9 (dersom ledig) for hensetting frem til avgangstidspunkt. På den måten vil det frigjøres ett lastespor.

### 5.5.2 Skifting før avgang

Togene kan kun forlate terminalen fra spor 8 eller spor 9, på grunn av signalanlegget. Tog som står på lastesporene vil derfor skifte til spor 8 før avgang, mens tog som er hensatt til spor 9 vil ha direkte avgang, siden skiftingen allerede er utført.

## 5.6 Avgrensninger

Modellen har noen mindre og større avgrensninger, selv om vi har etterstrebet å modellere systemet så realistisk som mulig. Allikevel har det vært mange utfordringer i modelleringen, og vi har derfor vært avhengige av å ta visse forbehold for å få modellen til å kjøre som ønsket.

### 5.6.1 Terminaltraktor

RailCombi benytter en terminaltraktor for å frakte semivogner fra lastesiden av toget og til semidepoet. Denne har vi valgt å ikke inkludere i modellen, siden vi hadde problemer med å

registrere gode data på disse operasjonene. Dette fordi terminaltraktoren raskt beveget seg utenfor vårt synsfelt, slik at det var vanskelig å se når prosesseringen sluttet.

Terminaltraktoren blir kun brukt i de mest pressede tilfellene, for å frigjøre plass fra lastesiden av toget, etterhvert som reachstackerne løfter semivogner av toget og plasserer de på bakken. Dette frigjør kapasitet på reachstackeren, siden den slipper å kjøre containeren fra lastesiden og bort til semidepoet, samtidig som det gir bedre plass å drive håndtering på.

Effekten av å ikke inkludere terminaltraktoren kan sies å være relativt lav, siden den kun brukes i forbindelse med lossing av visse tog. Likevel bruker den av kapasiteten til ressursnettverket terminalarbeidere, og vi undervurderer derfor kapasitetsutnyttelsen til disse ved å ikke inkludere terminaltraktoren i modellen.

### **5.6.2 Kjøring reachstacker og truck**

For å betjene lastebilene må reachstacker eller truck ofte kjøre fra et sted på terminalen til et annet, ettersom lastebilene skal hente containere enten fra depot, eller fra et av togene som står på lastesporene. Som diskutert under 4.3.2.1.1 har vi utelatt denne kjøringen, fordi det er svært vanskelig å angi start-tidtaking for kjøring. Dette skyldes at det er vanskelig å vite om en reachstacker kjører for å betjene en kunde, eller om vedkommende kjører bort til hovedkontoret for vaktskifte, eller lignende. Samtidig kan det argumenteres for at kjøring ikke er effektiv prosesseringstid, fordi dersom lastebilene ankommer i en tilordnet kø som passer til rekkefølgen av containere på togene, vil kjøringen være minimal.

All kjøring hvor håndteringsutstyret samtidig bærer på en container er inkludert i håndteringstidene, siden dette er effektiv kjøring. Eksempelvis dersom en lastebil leverer en container, og trucken må kjøre et stykke for å finne ledig plass til containeren på toget. På den måten er den effektive delen av kjøringen inkludert i modellen.

### **5.6.3 Booking**

Modellen vil ikke ta hensyn til eventuell booking og rammeavtaler som eksisterer mellom godsselskaper og større kunder. I forhold til virkeligheten er dette en vesentlig forenkling,

---

siden togene ofte har et definert antall reserverte slots (hvor reserverte containerne prioriteres), men som kan fylles av “drop-in” containere dersom det finnes ledige slots blant de reserverte. Vi antar at denne avgrensningen ikke vil ha en høy effekt på resultatene, siden vi har observert at de fleste containerne som ankommer blir plassert på et tog. Det kjøres altså ikke med tomme slots dersom det finnes aktuelle containere som kan fylle de.

#### **5.6.4 Hensetting på Mindemyren**

I virkeligheten finnes det hensettingsplass til 36 TEU på Mindemyren, men dette vil kreve deling av tog og en kapasitetskreven skifting. Derfor hensetter operatørene kun vogner på Mindemyren i svært pressede tilfeller.

Her anså vi at det ville være for krevende å samle inn empiriske data, siden toget går i tunnel og turen kan ta opptil 30 minutter tur-retur for skiftelokomotivet. Effektene av denne ekstra hensettingplassen vil ikke ha stor betydning for resultatene, med mindre systemet blir satt under så stort stress at operatørene får problemer med å overholde ruteplanen.

#### **5.6.5 Biltog**

Som nevnt under 2.3.2 er togparene 5501/5506 og 5519/5518 kombi-vognlast tog. Dette betyr at de har en lavere containerkapasitet enn de andre togene, siden noe av lengden brukes på bilvognene. Dersom vi skulle inkludert bilvognene og håndteringen av disse, ville det komplisert modelleringen og datainnsamlingen i høy grad. Vi valgte derfor å utelate disse operasjonene fra modellen.

Dette var i tråd med vårt ønske om å kartlegge containertrafikken, siden denne utgjør mesteparten av det totale antallet TEU som årlig fraktes mellom Alnabru og Bergen. I tillegg vil det være svært vanskelig å bedømme om bilvognene er fulle eller tomme, siden det ikke er andre visuelle muligheter enn å telle bilene etterhvert som de kjøres ut fra vognene og over på lastebil. Effekten på modellen vår er hovedsakelig at RailCombi vil få en lavere kapasitetsutnyttelse på skiftelokomotivet og terminalarbeiderne, siden de besørger skiftingen av bilvognene. Siden en del av bilvognene også fraktes med skiftelokomotivet til Mindemyren,

ville vi her hatt samme utfordring som nevnt under 5.6.4 med å observere prosesseringstiden på skiftingen.

### **5.6.6 Ekstreme avvik fra ruteplan**

Vi har valgt å ikke inkludere ekstreme avvik fra ruteplanen i modellen, og vi har derfor utelatt verdier lavere enn -60 minutter og høyere enn 60 minutter fra datasettet. Dette er fordi vi ønsker å se på hvordan togene normalt sett ankommer Nygårdstangen, og fordi vi regner med at observasjonene utenfor dette intervallet skyldes uforutsette hendelser. Under observasjonene så vi at de fleste togene gjerne ankom litt tidlig, og dette er i samsvar med gjennomsnittet i datasettet

I vedlegg 10 avvik fra ruteplan kan man se det innsamlede datasettet.

### **5.6.7 Spor 9 tilgjengelig for begge operatører**

I modellen vil tog kunne gå til spor 9 for hensetting både før håndteringen starter, og etter at lossingen er ferdig. Vi har her gjort to avgrensninger, som begge vil ha forholdsvis stor effekt på resultatene, og det vil derfor være viktig å tolke resultatene med skjønn.

I virkeligheten vil begge operatørene kunne hensette vogner eller hele tog på spor 9, mens i vår modell er det kun RailCombi som kan bruke hensettingssporet. Dette forklares mer utfyllende under 5.6.8.

I modellen vil det også være mulig for RailCombi å laste tog fra spor 9, selv om dette ikke er mulig i virkeligheten. Et tog må først gå til et av lastesporene, men dersom lossingen er ferdig kan toget gå til spor 9 dersom det er ledig, og fortsette lastingen derfra. Dette er i høy grad uønsket i modellen, men det har vist seg vanskelig å løse, på grunn av utformingen til modellen. Modellen er definert slik at det ikke er mulig å avslutte lastingen før et tog har avgang, dersom toget fortsatt har ledig kapasitet. Dette smitter altså over på hensettingssporet, og følgelig vil vi undervurdere kapasitetsutnyttelsen på lastesporene til RailCombi, og overvurdere kapasitetsutnyttelsen på spor 9. Det vil heller ikke være mulig å isolere denne effekten i resultatene, siden modellen beregner gjennomsnittlig prosesseringstid av alle

---

observasjoner, der vi ikke kan skille mellom ventetid før lossing og eventuell lastetid etter lossing.

### **5.6.8 Green Cargo-tog**

Siden Green Cargo har tre korte lastespor, må de i virkeligheten dele alle sine tog mellom lastesporene. Fordi de to togene på 52 TEU oppholder seg samtidig på terminalen, utføres det skifteoperasjoner som er tidkrevende å modellere, blant annet hensettes det 6 vogner av ett tog på spor 9.

Dette ville medført at modellen ville blitt unødvendig kompleks, blant annet med dobbelt så mange segmenter på Green Cargo-operasjonene. Vi har derfor valgt å anta at Green Cargo har to lange lastespor, som har kapasitet til å ta i mot begge togene uten å måtte dele de. Effekten av dette er at kapasitetsutnyttelsen på skifting (terminalarbeidere RailCombi) vil være lavere i simuleringen (sammenlignet med virkeligheten), slik at RailCombi vil kunne bruke en større andel av ressursene på håndtering av containere.

Vi har også valgt å redusere snutiden på tognummer 5 og 13 (Green Cargo 4849). Dette fordi tognummer 5 ikke er ferdig lastet når tognummer 13 ankommer, og det ville derfor hindret togene 14, 15 og 16 fra å komme inn på terminalen. Alternativet hadde vært å modellere den komplekse skiftingen, men her møtte vi tidlig store utfordringer, og vi valgte derfor å avgrense modellen med hensyn til dette.

### **5.6.9 Depot**

Vi har valgt å anta en høyere kapasitet i depotene enn det som er gjengitt under 2.2.2. Dette skyldes at terminaloperatørene ikke vil skille mellom lossedepot og lastedepot, slik at depotet i virkeligheten er et ressursnettverk, og følgelig mer fleksibel enn avgrensede depoter. For å kunne modellere containere som settes på bakken både i forbindelse med lossing og lasting, var vi for øvrig avhengige av å skille mellom et losse-og lastedepot, innenfor henholdsvis standard- og semivogner. Dersom vi simpelthen hadde delt den opprinnelige makskapasitet på antall lagre, ville vi undervurdert den faktiske kapasiteten til depotene.

### 5.6.10 Kontroll

Vår modell vil ikke inkludere kontrollen av godstog før avgang. Dette er fordi denne kontrollen er basert på skjønn, hvor kontrollen gjerne foregår parallelt når lastingen begynner å nærme seg slutten. I andre tilfeller gjøres den etter at lastingen er ferdig. Det ble derfor vanskelig å modellere korrekt. En slik avgrensning vil følgelig undervurdere kapasitetsutnyttelsen på de terminalansatte, siden det kreves en til to ansatte i cirka 30 minutter totalt for å gjennomføre kontrollen. Siden dette er de samme ansatte som foretar skifting og kjører håndteringsutstyret, vil vi overvurdere hvor mye ressurser vi har tilgjengelig til å foreta disse aktivitetene.

## 5.7 Validering av modell

Validering av modell kan gjøres ved hjelp av subjektive og objektive vurderinger og tester. Subjektive vurderinger blir ofte gjort på bakgrunn av erfaring og kunnskap fra personer som er kjent med systemet, mens objektive tester krever en form for matematiske estimater eller statistiske tester. Dette krever data fra virkeligheten, som man kan sammenligne med data fra modellen. (Banks, Carson & Nelson, 1996, s. 406)

### 5.7.1 Ankomst, snutid og avgang

Modellen genererer 16 tog i løpet av et døgn, hvor 14 av togene blir ferdig håndtert før simuleringen avsluttes. Fra resultatene ser vi at det er tog nummer 5 (Green Cargo) og tog nummer 8 (RailCombi), som ikke vil være ferdig håndtert før simuleringen slutter. Dette stemmer overens med snutidene i forhold til ankomsten på døgnet; tog nummer 5 ankommer simuleringen etter 267 minutter og har en snutid på 1712 minutter (ferdig etter 1979 minutter), mens tog nummer 8 ankommer simuleringen etter 1242 minutter, med en snutid på 1226 minutter (ferdig etter 2468 minutter). Vi ser også at begge togene er ferdig med lossing av containere, og venter på sitt respektive avgangstidspunkt mens lastingen pågår, når simuleringen slutter. I tillegg vil ett tog vente på at terminalansatte skal bli ledig slik at de kan skifte toget fra lastesporet, men pausen til de terminalansatte starter 10 minutter før avgangstidspunktet. I virkeligheten vil de fullføre skiftingen av dette toget før pausen inntreffer, slik at vi ser bort fra at toget forsinkes i modellen.



Videre ser vi at ankomsttidspunktet på togene vil variere noe fra ruteplanen, hvor de fleste togene ankommer før rutetidspunktet. Dette er også noe vi ønsker modellen skal gjøre, da datamaterialet avvik fra ruteplan viser at de fleste togene ankommer terminalen tidligere enn planlagt. Avgang blir likevel i henhold til ruteplanen da dette er et forhåndsbestemt og nøye planlagt tidspunkt.

## 5.7.2 Containernivå

Ved ankomst av 16 tog i løpet av to døgn skal RailCombi totalt losse 192 standardcontainere og 74 semivogner, mens Green Cargo skal losse 128 standardcontainere og 32 semivogner. Dette utgjør et samlet containerantall på 426, som tilsvarer et volum på 532 TEU. Dette er et fast volum som skal losses hver gang, og modellen vil ikke avvike fra dette.

Modellen vil i alle tilfeller losse alle togene ferdig, men ikke alle containere blir hentet innen to døgn. I tabell 22 vises gjennomsnittet, standardavviket og 95 % konfidensintervall for antall containere som har blitt hentet i løpet av to døgn, mens tabell 23 viser det gjenværende containervolumet i lossedepot, etter to døgn.

Tabell 22 – Containernivå hentet

Hentet containervolum	RailCombi		Green Cargo	
	<i>Standard</i>	<i>Semi</i>	<i>Standard</i>	<i>Semi</i>
$\mu$	30	9.7	25.7	3
$\sigma$	3.37	3.2	2.87	1.49
<b>95 % Konfidensintervall</b>	(23.39, 36.61)	(3.43, 15.97)	(20.07, 31.33)	(0.08, 5.92)

Tabell 23 - Containernivå i depot

Gjenværende containervolum	RailCombi		Green Cargo	
	<i>Standard</i>	<i>Semi</i>	<i>Standard</i>	<i>Semi</i>
$\mu$	65.5	27.3	38.3	13
$\sigma$	3.24	3.2	2.87	1.49
<b>95 % Konfidensintervall</b>	(59.15, 71.85)	(21.03, 33.57)	(32.67, 43.93)	(10.08, 15.92)

Vi ser fra resultatene at modellen sender de fleste containerne til depot ved lossing, noe som skyldes de lave ankomstratene til lastebilene som skal hente. Modellen vil gjøre det som er optimalt, og dersom det ikke er lastebil som venter på henting, vil modellen sende container til depot. Under observasjonene så vi at noen containere gikk direkte fra tog til lastebil, men etter samtaler med de ansatte viser det seg at dette er containere som de ansatte vet blir hentet innen et kort tidsrom, hvis ikke blir containeren plassert i depot.

Lasting vil imidlertid være avhengig av de innkommende lastebilene, og det vil derfor være variasjon i det lastede containervolumet. I tabell 24 vises gjennomsnittet, standardavviket og 95 % konfidensintervall for antall containere som har blitt lastet på tog i løpet av to døgn. Ved simuleringsslutt vil alle containerne være lastet på tog, og det vil derfor ikke være gjenværende containere i lastedepot.

Tabell 24 - Containernivå lastet

Lastet containervolum	RailCombi		Green Cargo	
	<i>Standard</i>	<i>Semi</i>	<i>Standard</i>	<i>Semi</i>
$\mu$	139.9	47.4	72.1	25.6
$\sigma$	9.17	6.19	6.31	3.27
<b>95 % Konfidensintervall</b>	(121.93, 157.87)	(35.27, 59.53)	(59.73, 84.47)	(19.19, 32.01)

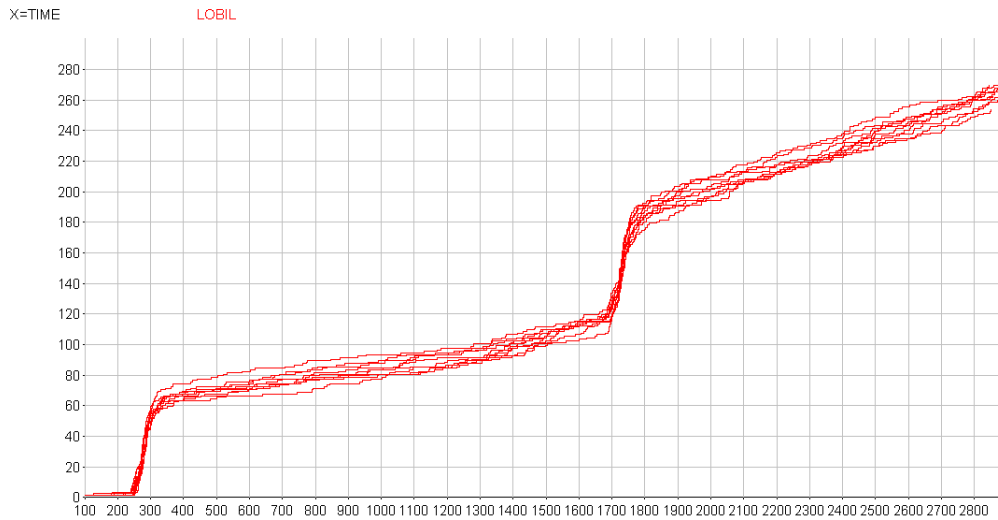
RailCombis lastede containerantall befinner seg i intervallet (157, 217 ) med 95 % sannsynlighet, mens Green Cargos lastede containerantall befinner seg i intervallet (79, 116) med 95 % sannsynlighet. Dette betyr at totalt antall lastede containere over to døgn befinner seg i intervallet (236, 333) hvilket utgjør en kapasitetsutnyttelse som varierer fra 40% - 56,3 % på utgående tog. Det lastede containervolumet i TEU per to døgn vil derfor variere i intervallet (290, 426), med et gjennomsnitt på 358 TEU.

Siden modellen alltid vil losse 532 TEU per to døgn, betyr dette at det totale containervolumet over to døgn (inngående + utgående) vil ligge i intervallet (822, 958) med 95 % sannsynlighet. Gjennomsnittet vil her være 890 TEU per to døgn.

### 5.7.3 Lastebiler

#### 5.7.3.1. Lastebiler henting

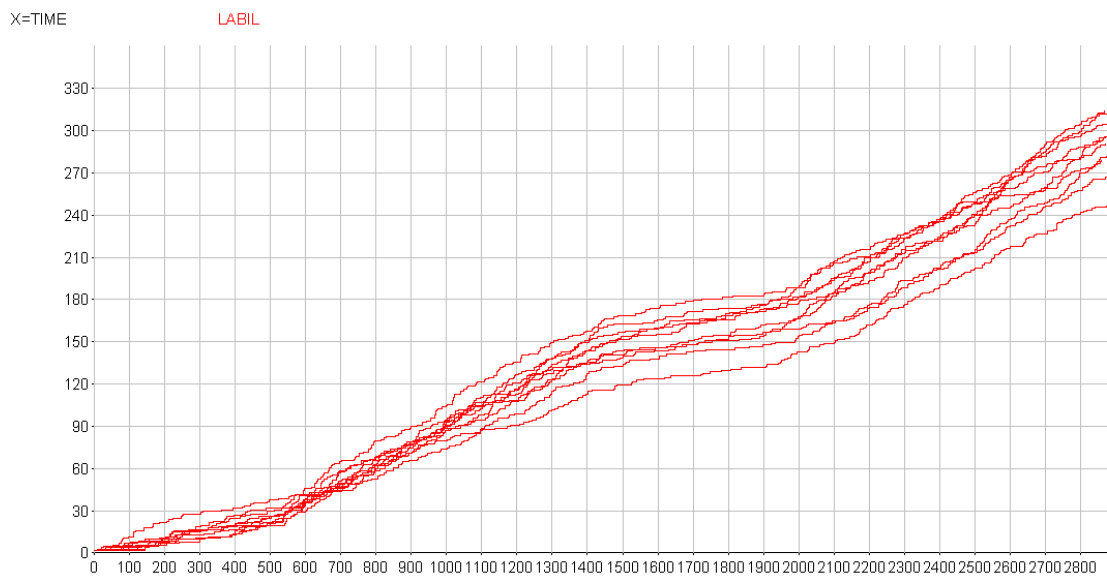
Lastebiler som skal hente containere ankommer basert på gjennomsnittet og fordelingene som er presentert under 5.2. Figur 45 viser de kumulative ankomstene til lastebiler som fremkommer i simuleringsmodellen. Vi ser at ankomstraten øker mellom 250-300 minutter etter midnatt, og at det samme gjentar seg i det påfølgende døgnet. Dette er riktig, siden vi vet at det er i dette tidsrommet nattogene ankommer Nygårdstangen, og følgelig vil lastebilene ankomme hyppigere i denne perioden.



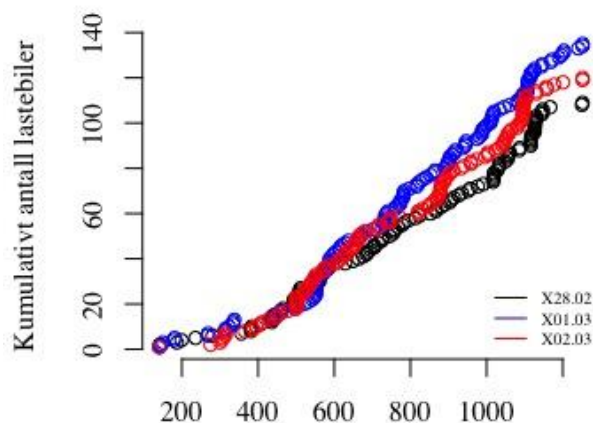
Figur 45 - Lastebiler henting RailCombi

### 5.7.3.2 Lastebiler levering

I modellen vil ankomstene til lastebiler som skal levere containere være avhengig av tidspunktet på døgnet, basert på de empiriske dataene presentert under 5.4.1. I figur 46 har vi grafet ankomstene fra simuleringsmodellen. Dersom vi sammenligner med de empiriske dataene i figur 47, ser vi at lastebilenes ankomst for levering stemmer med de observerte dataene. Merk her at figur 47 baserer seg på 1440 minutter.



Figur 46 - Lastebiler levering RailCombi



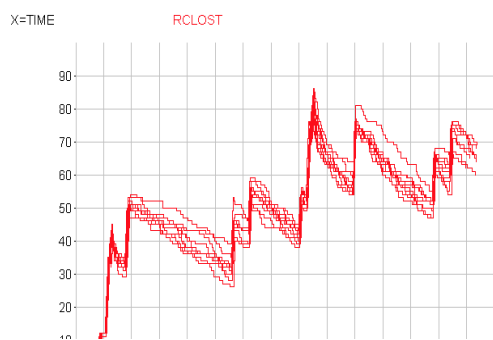
Figur 47 - Lastebiler levering datasett

Vi ser fra figurene at ankomstratene øker fra 500 minutter, og at modellen derfor fungerer som ønsket.

#### 5.7.4 Depot

Vi ser fra figur 48 og 49 at lossedepotene for standardcontainere vil fylles etterhvert som togene ankommer Nygårdstangen. Først vil depotene fylles som følge av nattogene, før de gradvis reduseres. Etterhvert som kveldstogene ankommer Nygårdstangen vil depotene på nytt øke. Dette mønsteret gjentar seg i det påfølgende døgnet.

På grafene ser det ut som om depotene er økende over tid. Dette har sammenheng med at de empiriske dataene på lastebiler som henter og det innkommende containervolumet, er innhentet på forskjellige uker. Det innkommende containervolumet er innhentet på uker med høyere etterspørsel, og ankomstratene i modellen vil derfor være noe lave i forhold til det



Figur 49 - Lossedepot RailCombi



Figur 48 - Lossedepot Green Cargo

containervolumet som fraktes. I tillegg til dette vil depotene naturlig være økende på tirsdager-torsdager (siden volumet som fraktes er størst da), mens de vil tømmes mot helgen. Dette mønsteret vil for øvrig ikke være mulig å lese fra modellen.

### **5.7.5 Oppsummering**

Valideringen og verifiseringen viser at modellen handler i henhold til det faktiske og realistiske systemet, og at resultatene er sammenlignbare med virkelige data. Vi tror derfor at modellen er realistisk nok for vårt formål. Likevel vil vi igjen nevne at modellen er en forenklet representasjon av virkeligheten, at vi har tatt en del antakelser, og at resultatene derfor må tolkes med forsiktighet.

Avslutningsvis vil vi poengtere at vi kjører modellen i to døgn (2880 minutter) for å kunne vurdere belastningen på systemet over tid. Her har det vært interessant å se hvorvidt modellen takler togene og containervolumene som kommer inn etter 1440 minutter, siden det fortsatt står tog (på lastesporene) og containere (i depot) igjen fra det første døgnet. Samtidig er det interessant å kjøre modellen over flere døgn fordi det viser en mer ekte kapasitetsutnyttelse på de forskjellige ressursene, herunder spesielt lastespor og hensettingsspor. Dette vil igjen ha en påvirkning på skiften (som vil ta terminalarbeidere bort fra håndteringsutstyret), og dermed en indirekte effekt på servicetidene til lastebilene.

---

## 6. Analyse

Analysen er delt inn i tre deler. Først presenteres base-caset, hvor vi analyserer resultatene fra simuleringen slik systemet fremstår i dag. Vi vil på denne måten forsøke å gi et godt innblikk i ytelsen til systemet, før vi eksperimenterer med det. I del to vil vi presentere maks-case, hvor målet er å øke presset i systemet. Vi vil derfor øke containervolumet opp til togenes kapasitet, og deretter sammenligne resultatene med base-caset. Deretter ønsker vi å eksperimentere med maks-caset, for å øke presset i systemet ytterligere.

I hvert case vil vi fokusere på de operasjonelle måltallene gjennomløpstid  $T$  og gjennomstrømningsrate  $R$  for de to flytenhetene tog og lastebiler. Vi vil også estimere et årlig containervolum for de to terminaloperatørene basert på resultatene vi finner.

### 6.1 Base case

Alle nøkkeltallene er beregnet med utgangspunkt i 10 simuleringer, og variasjonen i simuleringene kan finnes under vedlegg 4. En simulering varer i 2 døgn, og alle togene blir ferdig håndtert innen denne tiden. For øvrig vil det stå igjen to tog på terminalen når simuleringen er ferdig, hvilket samsvarer med ruteplanen.

#### 6.1.1 Containervolum

For å estimere det årlige containervolumet, vil vi ta utgangspunkt i det som blir fraktet med togene, altså hvor mye som blir losset og hvor mye som blir lastet på togene.

##### *6.1.1.1 Årlig containervolum gitt base-case*

Resultatene fra modellen viser at det behandles 445 TEU per døgn (se 5.7.2) på Nygårdstangen. Dette utgjør totalt 1 335 TEU for de tre dagene tirsdag, onsdag og torsdag. Det empiriske datamaterialet som containervolumet i modellen er basert på, viser for øvrig et totalt volum fra tirsdag til torsdag på 1 604 TEU for uke 12, 1 644 TEU for uke 13 og 1 598 TEU for uke 14, som vist i tabell 25.

---

 Tabell 25 - Årlig containervolum basert på base-case

Uke	12	13	14
RailCombi volum tirsdag-torsdag i TEU	1054	1065	1073
Ukevolum i TEU	1825	1609	1852
Tirsdag-torsdag i % av ukevolum	57,8 %	66,2 %	57,9 %
Green Cargo volum tirsdag-torsdag i TEU	550	579	525
Ukevolum i TEU	1001	708	1042
Tirsdag-torsdag i % av ukevolum	55 %	81,8 %	50,4 %
<b>Totalt volum tirsdag-torsdag Nygårdstangen</b>	<b>1604 TEU</b>	<b>1644 TEU</b>	<b>1598 TEU</b>
<b>Totalt volum per uke Nygårdstangen</b>	<b>2826 TEU</b>	<b>2317 TEU</b>	<b>2894 TEU</b>
<b>Tirsdag-torsdag i % av ukevolum</b>	<b>56,75 %</b>	<b>70,95 %</b>	<b>55,2 %</b>

I gjennomsnitt utgjør tirsdag-torsdag 60,96 % av det totale ukevolumet. Modellen vår vil derfor frakte et ukentlig volum på 2 190 TEU. Dersom vi antar fem driftsdager i uken, og 245 driftsdøgn i året, vil terminalen ha et gjennomsnittlig containervolum på 107 310 TEU per år (99 109 TEU, 115 507 TEU). Vi ser at vår modell i gjennomsnitt ligger lavere enn det empiriske datamaterialet når det gjelder fraktet volum. Dette skyldes at ankomstraten for lastebiler som leverer er innhentet i uke 9, som var en historisk lav uke, mens uke 12,13 og 14 som vi sammenligner resultatene med, var historisk gode uker. I tillegg har to av togene i vår modell ikke avgang før i det neste døgnet, og vil fortsatt lastes på. Tallene er derfor ikke direkte sammenlignbare, siden tallene ovenfor er basert på at alle togene er ferdig lastet.

For å unngå konfidensiell behandling av oppgaven, kan vi ikke estimere det årlige volumet på Nygårdstangen mer presist. Vi vil forøvrig også estimere det årlige volumet under maks-caset



---

(med samme antagelser), og det vil derfor være mulig å få en indikasjon på systemets ytelse under et større containervolum.

Avslutningsvis kommenterer vi kort at bilvolumene i snitt utgjør cirka 7 007 TEU hvert år, og at det gjennomsnittlige totalvolumet på terminalen dermed er 114 317 TEU. På bilvolumet kjenner vi for øvrig ikke variasjonen i datamaterialet, siden vi kun har tatt utgangspunkt i et gjennomsnittlig ukevolum.

## 6.1.2 Nøkkeltall for tog

Vi har valgt å ikke ta for oss måltallet lager, siden gjennomløpstid vil vise den gjennomsnittlige ventetiden, og det er denne vi er mest opptatt av. Videre mener vi at de to måltallene gjennomløpstid og gjennomstrømningsrate gir en god og hensiktsmessig beskrivelse av systemet.

### 6.1.2.1 Gjennomløpstiden til togene

Togene ankommer på spor 8, og kan velge mellom tre “stier”; kort spor, lange spor, lastespor Green Cargo. Her er vi opptatt av togene sin totale gjennomløpstid, som inkluderer både ankomst, ventetid, skiftetid, og prosesseringstid på lastespor.

- Ventetid  $T_i$  er gjennomsnittstiden fra et tog ankommer spor 8, til toget starter skifting til lastesporet. Dersom et tog hensettes på spor 9 fordi lastesporene er fulle, vil skiftingen hit, i tillegg til ventetiden på dette sporet, være inkludert i ventetiden.
- Prosesseringstid  $T_p$  er gjennomsnittstiden fra et tog starter skiftingen til lastesporene, frem til toget er ferdig håndtert og plassert på spor 8 for avgang. Prosesseringstid vil derfor også inneholde eventuell venting på avgangssignal, siden dette er en reell aktivitet som må gjennomføres, gitt ruteleiene. Dersom togene plasseres på spor 9 etter lossing for hensetting/lasting, vil denne tiden også inkluderes i prosesseringstid.

Tabell 26 - Gjennomløpstid tog

	RailCombi		Green Cargo
	Kort spor	Lange spor	Lastespor
<i>Ventetid <math>T_i</math></i>	<b>15,39 min</b>	<b>15,39 min</b>	<b>0,56 min</b>
<i>Skifting før lastespor</i>			
	<i>10,86 min</i>	<i>10,86 min</i>	*
<i>Tid på lastespor</i>	<i>598,50 min</i>	<i>627,74 min</i>	<i>1194,57 min</i>
<i>Skifting etter lastespor</i>			
	<i>20,59 min</i>	<i>20,59 min</i>	<i>20,59 min</i>
<i>Prosesseringstid <math>T_p</math></i>	<b>629,95 min</b>	<b>659,19 min</b>	<b>1215,16 min</b>
<i>Gjennomløpstid T</i>			
	<b>645,34 min</b>	<b>674,58 min</b>	<b>1215,72 min</b>

\*På Green Cargo er skiftingen til lastesporet inkludert i "tid på lastespor".

Med dagens containervolum og ruteplan vil ingen av togene i modellen være forsinket i forhold til avgang gitt av ruteplanen. For RailCombi ser vi i tabell 26 at ventetiden kun utgjør 2 % av den totale gjennomløpstiden. Ventetiden til Green Cargo er lav fordi vi har redusert snutiden på tognummer 5 og 13 (se 5.6.8 for utfyllende informasjon). Reelt vil nok ventetiden på Green Cargos tog være en del høyere, uten at vi har grunnlag for å uttale oss nærmere om det.

Generelt vil gjennomløpstiden til togene i høy grad være gitt fra ruteplanen og snutiden til togene. Dette er grunnen til at Green Cargo har en høyere prosesseringstid per tog sammenlignet med RailCombi. Siden modellen også fortsetter å laste containere selv om toget er gått til spor 9 (se 5.6.7), vil prosesseringstiden som forekommer her samt skiftingen hit,

være inkludert i prosesseringstiden på det lastesporet som toget kom fra (kort spor eller lang spor). Dette gjelder kun for RailCombi.

Dersom et tog går til spor 9 vil det i realiteten ikke behøve skifting tilbake til spor 8 før avgang. Likevel vil beregningene over ta utgangspunkt i at alle tog, uavhengig av hvor de går fra, får en ekstra skiftetid. Dette er fordi det ikke er mulig ut fra beregningene, å skille ut hvilke av togene som går fra spor 8 eller 9. Dette vil medføre at vi feilberegner prosesseringstiden noe på de togene som går til det de lange eller det korte sporet.

### 6.1.2.2. Gjennomstrømningsrate $R$ for togenes ressurser

For å beregne gjennomstrømningsrate/prosesseringsrate, har vi tatt utgangspunkt i to døgn (2880 minutter). Vi vil også her skille mellom RailCombi sitt korte og to lange spor, samt Green Cargo sine spor. Her er vi opptatt av ressursene sin gjennomstrømningsrate, som angir hvor mange tog som flyter gjennom ressursen over to døgn.

Tabell 27 - Gjennomstrømningsrate tog RailCombi

<b>RailCombi</b>				
	<b>Ankomstrate <math>R_i^*</math></b>	<b>Prosesseringstid per enhet <math>T_p</math></b>	<b>Kapasitet <math>R_p</math></b>	<b>Kapasitetsutnyttelse <math>u</math></b>
<b>Spor 8</b>	27	6,91 min	416,8	6,48 %
<b>Skiftelokomotiv</b>	30	10,03 min*	263,21	11,39 %
<b>Kronstadsporet</b>	30	10,03 min	287,14	10,45 %
<b>Spor 9</b>	3	583,42 min	4,94	60,72 %
<b>Kort spor</b>	5	410,27 min	7,02	71,22 %
<b>Lange spor</b>	7	454,63 min	12,67	55,25 %

\* På skiftelokomotiv er pausen på 240 minutter fratrukket, siden skiftelokomotivet trekkes ut i pausen.

På RailCombi ser vi fra tabell 27 at det er det korte sporet som har høyest kapasitetsutnyttelse, noe som indikerer at dette er flaskehalsen i deres operasjoner. Generelt ser vi at lastesporene har høy kapasitetsutnyttelse slik ruteplanen er utformet i dag. Dersom vi legger gjennomsnittlig snutid som grunnlag for prosesseringstid, finner vi at RailCombi ville hatt en teoretisk kapasitetsutnyttelse på 95,3 %, dersom de ikke hadde hatt muligheten til å hensette tog på spor 9. RailCombi er derfor avhengig av minimum ett hensettingsspor for å ha nødvendig fleksibilitet i forhold til lastesporene.

Tabell 28 - Gjennomstrømningsrate tog Green Cargo

<b>Green Cargo</b>				
	<b>Ankomstrate <math>R_i</math></b>	<b>Prosesseringstid per enhet <math>T_p</math></b>	<b>Kapasitet <math>R_p</math></b>	<b>Kapasitetsutnyttelse <math>u</math></b>
<b>Spor 8</b>	27	6,91 min	416,8	6,48 %
<b>Skiftelokomotiv</b>	30	10,03 min*	263,21	11,39 %
<b>Kronstadsporet</b>	30	10,03 min	287,14	10,45 %
<b>Lastespor</b>	4	1190,58 min	4,84	82,64 %

\* På skiftelokomotiv er pausen på 240 minutter fratrukket, siden skiftelokomotivet trekkes ut i pausen.

Siden vi har redusert snutiden til tognummer 5 og 13, vil kapasitetsutnyttelsen på lastesporene til Green Cargo i virkeligheten ligge høyere. Den teoretiske kapasitetsutnyttelsen på sporene til Green Cargo er i virkeligheten 92,84 %, som er beregnet på bakgrunn av de to togenes ankomst og avgang i forhold til lastesporene. I denne beregningen har vi for øvrig ikke hensyntatt at Green Cargo i virkeligheten vil hensette vogner på spor 9, se 5.6.8.

Vi ser fra tabell 28 at presset er størst på lastesporene og hensettingssporet, mens de delte ressursene har en relativt lav kapasitetsutnyttelse. Disse resultatene stemmer overens med våre egne observasjoner, i tillegg til konklusjonene fra KS1, hvor kapasitetspresset på lastesporene og hensettingssporene ble fremhevet som mest prekært (Finsveen et.al., 2016).

---

### 6.1.3 Nøkkeltall for lastebiler

I løpet av simuleringens varighet vil Green Cargo holde stengt i tilsammen 14 timer, mens RailCombi vil holde stengt totalt 4 timer. For at tallene skal bli realistiske må den totale ventetiden til lastebilene justeres for åpningstidene, siden vi antar at lastebilene kjenner disse. I tillegg må vi også justere total prosesseringstid på håndteringsutstyret, siden modellen vil trekke ut terminalansatte, reachstacker, truck og skiftelokomotiv i stengtiden. Alle tall som presenteres nedenfor viser derfor effektiv kapasitetsutnyttelse per ressurs.

#### 6.1.3.1 Gjennomløpstid $T$ for lastebiler

Lastebiler som ankommer Nygårdstangen har to “stier” å velge mellom, avhengig av om de skal hente eller levere containere. Ved henting kan lastebilen enten hente containeren direkte fra tog eller fra depot, avhengig av hvor containeren står plassert. Ved levering kan lastebiler levere enten direkte på tog, eller til depot.

- Ved henting vil ventetid  $T_i$  være tiden fra en lastebil har stilt seg opp foran aktuell container, til håndteringen starter.
- Ved levering vil ventetid  $T_i$  være tiden fra lastebilen har ankommet terminalen, og venter på håndtering.
- Prosesseringstidene  $T_p$  vil være lik håndteringstiden til utstyret på det aktuelle løftet.

Tidene under vil være basert på lastebilene som er ferdigbehandlet, slik at lastebilene som er under prosessering når simuleringen avsluttes ikke vil være medregnet.

#### **Henting**

Modellen vår vil losse alle containerne og sette dem i depot som følge av lastebilenes ankomstrate, og det vil derfor ikke være lastebiler som henter containere direkte fra tog. Vi undersøker derfor kun gjennomløpstidene til lastebiler henting på løftet depot-lastebil. Siden semivogner som er plassert i depot kan hentes av lastebil uten hjelp fra håndteringsutstyret, vil det ikke være ventetid eller prosessering i forbindelse med dette. Vi ser derfor kun på gjennomløpstiden til standardcontainerne.

Ventetiden vil være felles for lastebiler som skal hente standardcontainere, og uavhengig av håndteringsutstyret. Dette er fordi reachstacker og truck er delvis komplementære ressurser,

og en lastebil som skal hente standardcontainere vil bli behandlet av den første ledige ressursen.

Tabell 29 - Gjennomløpstid lastebil henting

RailCombi		Green Cargo		
Type løft	Fra depot til lastebil			
	Truck	Reachstacker	Truck	Reachstacker
$T_i$ :	$(0,58+2,02^*)$ 2,60 min	$(0,58+2,02^*)$ 2,60 min	$(2,05+10,82^*)$ 12,87 min	$(2,05+10,82^*)$ 12,87 min
$T_p$	0,97 min	1,14 min	0,98 min	1,08 min
<b><math>T</math></b>	<b>3,57 min</b>	<b>3,74 min</b>	<b>13,85 min</b>	<b>13,95 min</b>

\*Justert for pauser

Fra tabell 29 ser vi at lastebiler som skal hente standardcontainere fra RailCombi i snitt må vente i 2,60 minutter, mens lastebiler som skal hente standardcontainere fra Green Cargo i snitt må vente 12,87 minutter. Disse tallene er korrigert for de respektive pausene.

Vi ser av tabell 29 at prosesseringstidene på truck er like, men at Green Cargo har en noe kortere prosesseringstid på reachstacker. RailCombi har i gjennomsnitt 10,27 minutter kortere ventetid enn Green Cargo, hvilket har sammenheng med førstnevnte har én ekstra reachstacker, samt at de har dobbelt så mange terminalarbeidere.

### Levering

På lastebiler som skal levere containere klarer vi ikke å isolere ventetiden basert på type container eller løft, og vi må derfor benytte en felles ventetid for hver operatør respektivt. Hos RailCombi vil det heller ikke være noen lastebiler som leverer containere til depot ved bruk av truck, slik at det ikke vil være mulig å registrere prosesseringstider på dette løftet. Det samme gjelder for Green Cargo, da vi ser fra simuleringen at ingen containere blir levert til depot.

Tabell 30 - Gjennomløpstid lastebiler levering RailCombi

<b>RailCombi</b>					
Type løft	<i>Fra lastebil til tog</i>			<i>Fra lastebil til depot</i>	
	Truck	Reachstacker		Truck	Reachstacker
	Standard	Standard	Semi	Standard	Standard
$T_i$ :	2,43 min*	2,43 min*	2,43 min*	-	2,43 min*
$T_p$	0,96 min	1,41 min	2,04 min	-	1,12 min
<b><math>T</math></b>	<b>3,39 min</b>	<b>3,84 min</b>	<b>4,47 min</b>	-	<b>3,55 min</b>

\*Justert for pauser

Tabell 31 - Gjennomløpstid lastebiler levering Green Cargo

<b>Green Cargo</b>					
Type løft	<i>Fra lastebil til tog</i>			<i>Fra lastebil til depot</i>	
	Truck	Reachstacker		Truck	Reachstacker
	Standard	Standard	Semi	Standard	Standard
$T_i$ :	40,29 min*	40,29 min*	40,29 min*	-	-
$T_p$	0,93 min	1,46 min	2,06 min	-	-
<b><math>T</math></b>	<b>41,22 min</b>	<b>41,75 min</b>	<b>42,35 min</b>	-	-

\* Justert for pauser

Fra tabell 30 ser vi at lastebiler som skal levere containere til RailCombi, har en mye kortere ventetid enn Green Cargo (gjengitt i tabell 31), med henholdsvis 2,43 minutter og 40,29 minutter. Vi ser derfor at lastebiler som skal levere til Green Cargo har en gjennomløpstid som er over ti ganger så lang som gjennomløpstiden til RailCombi. I tillegg bryter de med EU-kravet på 20 minutter, som defineres i 4.1.

Hos RailCombi vil ventetidene mellom levering og henting være relativt like, mens hos Green Cargo vil det være en forskjell på 27,42 minutter i favør henting. Dette kan forklares med at lastebiler som skal levere har en høyere ankomstrate, og at køen dermed vil bli større, som igjen vil medføre økt ventetid.

### 6.1.3.2 Gjennomstrømningsrate $R$ for lastebilenes ressurser

For å beregne ankomstraten på de ulike ressursene, har vi tatt utgangspunkt i resultatene fra simuleringen, justert for pause, og trukket ut de enhetene som skyldes pause.

Tabell 32 - Gjennomstrømningsrate lastebil RailCombi

<b>RailCombi</b>				
	<b>Ankomstrate <math>R_i</math></b>	<b>Prosesseringstid per lastebil <math>T_p</math></b>	<b>Kapasitet <math>R_p</math></b>	<b>Kapasitetsutnyttelse <math>u</math></b>
<b>Terminalansatte</b>	646	3,35 min	3152	20,49 %
<b>Reachstacker</b>	370	2,24 min	2357	15,7 %
<b>Truck</b>	215	1,05 min	2514	8,55 %



Tabell 33 - Gjennomstrømningsrate lastebil Green Cargo

<b>Green Cargo</b>				
	<b>Ankomstrate <math>R_i</math></b>	<b>Prosesseringstid per enhet <math>T_p</math></b>	<b>Kapasitet <math>R_p</math></b>	<b>Kapasitetsutnyttelse <math>u</math></b>
<b>Terminalansatte</b>	330	3,81 min	1071	30,81 %
<b>Reachstacker</b>	143	1,59 min	1283	11,15 %
<b>Truck</b>	187	1,02 min	1990	9,35 %

Generelt ser vi fra tabellene 32 og 33 at det er relativt lav kapasitetsutnyttelse på de forskjellige ressursene. Green Cargos terminalarbeidere er det ressursnettverket med størst kapasitetsutnyttelse, noe som indikerer at dette er flaskehalsen i deres håndteringssystem. Hos RailCombi er terminalarbeiderne også det ressursnettverket med størst kapasitetsutnyttelse, selv om den er 10 % lavere sammenlignet med Green Cargo. Her er det for øvrig viktig å være klar over at mange av avgrensningene vi foretok i 5.6 vil påvirke kapasitetsutnyttelsen til terminalarbeiderne hos RailCombi, siden de besørger all skiftingen. I tillegg har vi heller ikke inkludert kontroll av toget før avgang (se 5.6.1.0), hvor det behøves to terminalarbeidere i cirka 30 minutter per tog (basert på data fra dybdeintervjuer). Vi ser derfor at kapasitetsutnyttelsen på terminalarbeiderne i virkeligheten vil ligge høyere for begge operatørene, men at det er spesielt hos RailCombi at kapasitetsutnyttelsen ikke er representativ.

På reachstacker ser vi at RailCombi har en høyere kapasitetsutnyttelse enn Green Cargo, på tross av at de har et ressursnettverk, mens sistnevnte kun har én ressursenhet. Dette skyldes at antallet containere som skal behandles er langt høyere hos RailCombi. Her ser vi også at prosesseringstiden er høyere hos RailCombi, som skyldes at de skal behandle et høyere antall semivogner i forhold til Green Cargo.

På truck ser vi at Green Cargo har en høyere kapasitetsutnyttelse enn RailCombi, på tross av at antall containere som skal behandles er lavere, og at de har et likt antall ressursenheter.

Dette skyldes at Green Cargo har en åpningstid på totalt 2040 minutter i løpet av to døgn, mens RailCombi til sammenligning har en åpningstid på 2640 minutter. Green Cargo kan derfor oppnå en lavere kapasitetsutnyttelse på sine ressurser ved å utvide åpningstidene tilsvarende RailCombi.

## 6.2 Maks-case

I dette kapitlet ønsker vi å presse systemet, og vi øker derfor containervolumet opp til togenes maksimale kapasitet. Her vil vi først se om et høyere containervolum påvirker togenes gjennomløpstid og kapasitetsutnyttelsen til de tilknyttede ressursene. Deretter vil vi rette fokus mot lastebilenes gjennomløpstider, og kapasitetsutnyttelsen til de tilknyttede håndteringsressursene.

Alle beregninger, og variasjonen i datamaterialet, kan finnes i vedlegg 3, 5 og 6.

### 6.2.1 Nytt containervolum

For å beregne et nytt inngående containervolum, tar vi utgangspunkt i de andelene standardcontainere og semivogner som i dag kjøres på de respektive tognumrene (vises i 5.1.2). Kapasiteten er gitt av tognummer, og med bakgrunn i andelene beregner vi antall semivogner og standardcontainere på de fullastede togene.

De innkommende togene vil nå inneholde til sammen 676 TEU, hvor modellen vil losse ferdig alle togene, men hvor en del av containerne fortsatt ikke er hentet når simuleringen avsluttes. På de utgående togene vil vi nå få et totalt gjennomsnittlig antall på 362 TEU, hvor 95 % av observasjonene befinner seg i intervallet (310 TEU, 414 TEU). Dette betyr at det samlede volumet per to døgn i gjennomsnitt er 1 038 TEU, med tilhørende intervall (986 TEU, 1 090 TEU). Under 5.7.2 så vi at det gjennomsnittlige volumet under base-caset var 890 TEU per to døgn, og at containervolumet som fraktes per to døgn derfor øker med 148 TEU i maks-caset.

#### 6.2.1.1 Årlig containervolum gitt maks-case

Vi baserer oss her på de samme antagelsene som under 6.1.1.1. Det nye volumet vil utgjøre 519 TEU per døgn. Siden tirsdag-torsdag utgjør 60,96 % av det totale ukevolumet, vil

---

modellen nå frakte et ukentlig volum på 2 554 TEU. Med fem driftsdager per uke og 245 driftsdøgn i året, vil terminalen ha et gjennomsnittlig containervolum på 125 153 TEU per år (118 883 TEU, 131 422 TEU). Etter å ha inkludert bilvolumet på i gjennomsnitt 7 007 TEU, vil det gjennomsnittlige volumet per år være 132 160 TEU.

Denne modellen vil derfor representere presset i systemet som oppstår når vi nærmer oss den uttalte kapasitetsgrensen på 145 000-150 000 TEU (Jernbaneverket, 2015).

## **6.2.2 Effekt på togenes gjennomløpstid og tilknyttede ressurser**

Vi ser at økningen i containervolum ikke vil ha noen nevneverdig effekt på et togs gjennomløpstid, og at kapasitetsutnyttelsen til ressursene knyttet til togene er omtrent lik. Siden dette utgjør marginale forskjeller, som kan skyldes tilfeldigheter, velger vi å kun fokusere på lastebilenes gjennomløpstid, og de tilknyttede ressursenes kapasitetsutnyttelse

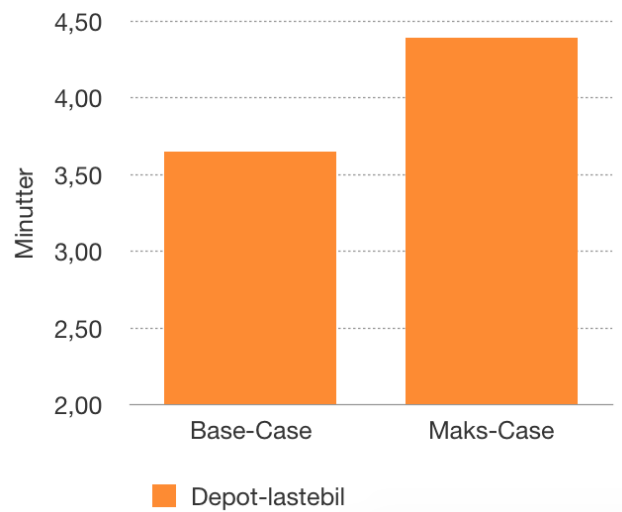
## **6.2.3 Effekt på lastebilenes gjennomløpstid og tilknyttede ressurser**

Under vil vi sammenligne nøkkeltallene presentert under 6.1 med resultatene fra maks-caset.

### *6.2.3.1 Gjennomløpstid T*

Fra base-case, og fra resultatene av denne simuleringen, ser vi at alle containerne hentes fra depot. Siden semivogner ikke krever håndtering fra/til depot, betyr dette at vi kun får resultater på hentetider fra standardcontainere og depot.

## Henting



Figur 50 - Gjennomløpstid lastebiler henting RailCombi

I figur 50 ser vi at lastebiler som skal hente containere fra RailCombis depot får en økt ventetid på 0,72 minutter. Dette er en moderat økning med tanke på at systemet nå skal håndtere en økning på 37 % ( $(233/170)-1$ ) i containervolumet. Vi ser derfor at RailCombi har god kapasitet på håndteringsutstyret i forhold til togenes kapasitet. Total gjennomløpstid for lastebiler som skal hente containere hos RailCombi vil nå være enten 4.34 minutter eller 4.44 minutter, avhengig av håndteringsutstyret som benyttes.

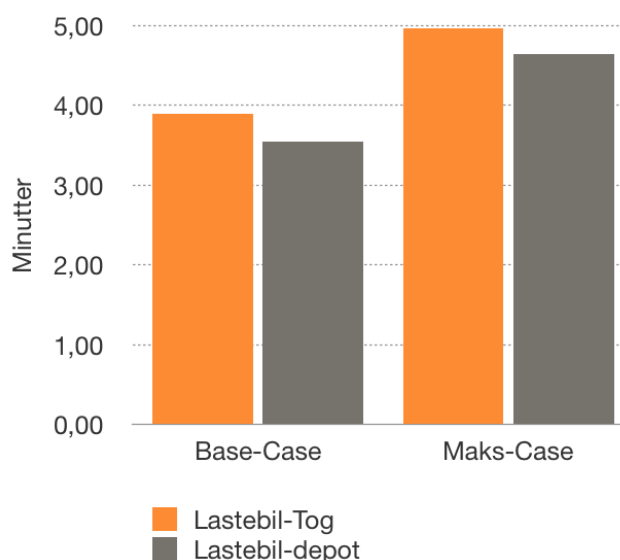


Figur 51 - Gjennomløpstid lastebiler henting Green Cargo

I figur 51 ser vi at lastebiler som skal hente containere hos Green Cargo får en økning i ventetiden på 0,82 minutter, slik at den totale gjennomløpstiden enten blir 14,64 minutter eller 14,82 minutter, avhengig av håndteringsutstyret som brukes. Håndteringsutstyret skal nå klare en økning i containervolumet på 8,34 %  $((104/96)-1)$ , som er nesten 29 % lavere enn hva RailCombi skal håndtere. Allikevel er økningen i ventetiden for lastebilene høyere hos Green Cargo. Vi ser derfor at køen har potensiale til å bygge seg raskere hos Green Cargo enn RailCombi.

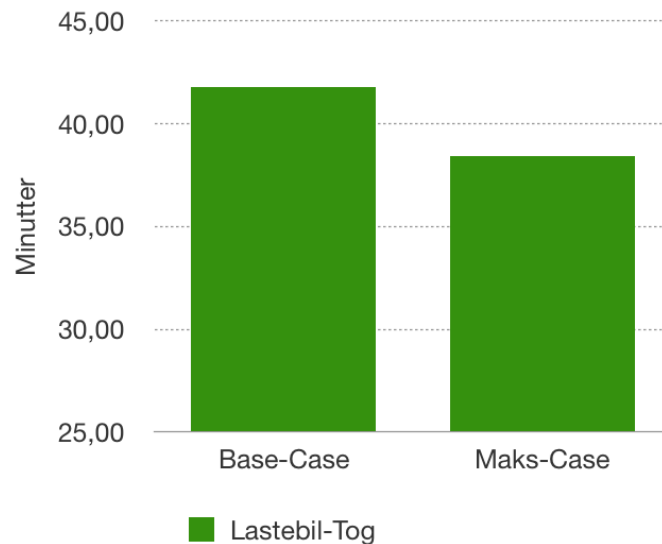
### Levering

På levering vil de fleste containerne under maks-caset gå direkte fra lastebil til tog, og vi vil derfor fokusere på dette løftet videre i analysen og under 6.3. Hos RailCombi vil lastebilene for øvrig levere containere både direkte til tog, men også til depot. Vi presenterer derfor gjennomløpstiden på begge løftene hos RailCombi.



Figur 52 - Gjennomløpstid lastebiler levering RailCombi

I figur 52 ser vi i likhet med figur 50, at ventetiden for lastebiler har gått opp med henholdsvis 1,09 minutter. Økningen i ventetid er derfor større på levering enn henting, men dette skyldes at ankomstraten er høyere for lastebiler som skal levere. Den økte ankomstrate vil medføre at køen bygger seg raskere, som resulterer i økte ventetider.

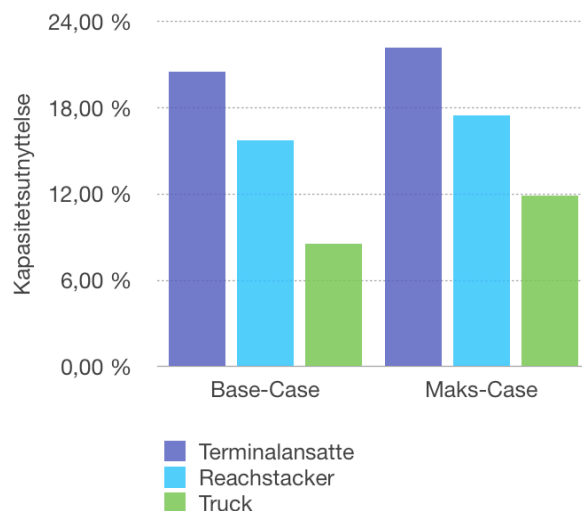


Figur 53 - Gjennomløpstid lastebiler henting Green Cargo

I figur 53 ser vi at Green Cargo derimot har en nedgang i ventetiden, men vi ser at forskjellen er liten. Som tidligere diskutert har ikke Green Cargo den samme økningen i containervolum som RailCombi, og vi forventer derfor mindre forskjeller mellom base-case og maks-case.

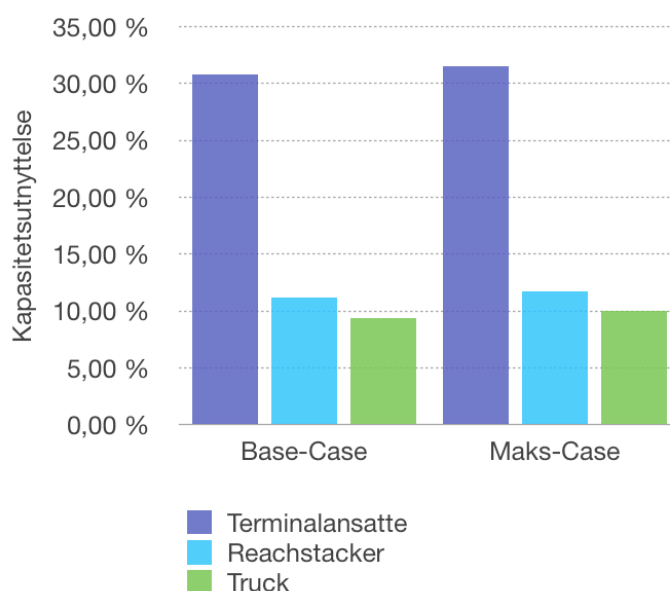
### 6.2.3.2 Gjennomstrømningsrate $R$ for ressurser knyttet til lastebiler

På gjennomstrømningsrate ser vi kort om det eksisterer forskjeller mellom base-case og maks-case, med hensyn til kapasitetsutnyttelsen på lastebilenes ressurser. Alle tider er justert for pauser.



Figur 54 - Kapasitetsutnyttelse håndteringsressurser RailCombi

Som forventet har RailCombi en økning i kapasitetsutnyttelsen på alle ressursene som håndterer lastebiler, som vist i figur 54. Vi ser at den største økningen i kapasitetsutnyttelsen forekommer på trucken, mens den minste endringen forekommer på terminalarbeiderne. RailCombi har generelt lav kapasitetsutnyttelse på håndteringsressursene, og siden vi vet at ventetiden for lastebilene ikke øker markant, ser vi at de fortsatt har god kapasitet til å håndtere de innkommende lastebilene.



Figur 55 - Kapasitetsutnyttelse håndteringsutstyr Green Cargo

Green Cargo har som vist i figur 55 også en liten økning i kapasitetsutnyttelsen på ressursene som skal håndtere lastebiler, selv om økningen er liten i forhold til RailCombis ressurser. Dette

kan forklares med at økningen i containervolum (og dermed antall lastebiler) er lavere hos Green Cargo.

## 6.3 Eksperiment

Vi ønsker i dette kapitlet å gjennomføre to forskjellige eksperimenter med utgangspunkt i maks-caset, hvor det overordnede målet vil være å presse systemet ytterligere.

Først ønsker vi se på om det er mulig å øke kapasitetsutnyttelsen på de ulike ressursene knyttet til tog og lastebiler, gjennom å redusere antall ressursenheter. For å vurdere hvorvidt det vil være realistisk å kunne redusere antallet på noen av ressursene, vil vi basere oss på følgende momenter: eventuell forsinkelse på tog i forhold til avgangstidspunkt, losset og lastet containervolum, og lastebilers gjennomløpstid.

Deretter vil vi eksperimentere med lastebilenes ankomstrate. Vi ønsker å undersøke om en høyere ankomstrate vil medføre at et økt antall containere fraktes, og hvorvidt gjennomløpstiden til lastebilene vil øke i en slik grad at EU-kravet på 20 minutter ikke overholdes. Effekten på kapasitetsutnyttelsen til ressursene tilknyttet håndtering av lastebiler vil også bli vurdert. Til slutt ønsker vi å redusere variabiliteten i ankomstene til lastebiler. Dette fordi vi antar at lastebilers ankomst vil ha lavere variabilitet som følge av mer definerte ankomstrater.

Alle beregninger samt variasjonen i resultatene kan finnes i vedlegg 3 og 7.

### 6.3.1 Variere ressurser

Hvilke ressurser vi ønsker å variere baserer seg på resultatene fra 6.2. Det fremkommer blant annet under maks-caset at lastebiler som skal levere containere til Green Cargo allerede har en høyere ventetid enn hva EU-kravet tilsier. Vi ser også at kapasitetsutnyttelsen på lastesporene er høy, og vi ønsker derfor ikke å eksperimentere med å redusere antall ressursenheter som skal behandle Green Cargos tog og lastebiler.

Vi ser imidlertid at lastebiler som skal hente og levere til RailCombi blir behandlet raskt, og vi ønsker derfor å fokusere eksperimentet rundt deres operasjoner. Først ønsker vi å undersøke



om det er mulig å redusere antall lastespor, og om RailCombi kan klare seg uten hensettingssporet. Det overordnede vil være at togene blir ferdig håndtert innen avgang, og at ventetiden på spor 8 ikke øker. Dette fordi spor 8 må være fritt tilgjengelig til å håndtere ankomst og avgang fra både persontogene og godstogene.

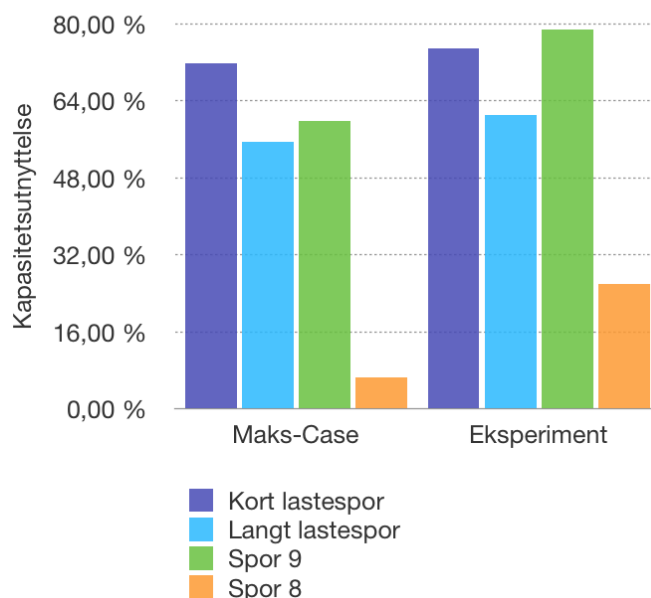
Videre vil vi forsøke å redusere antall håndteringsressurser i forbindelse med lastebilene. Vi ønsker først å se om det er mulig å ta bort trucken hos RailCombi, og deretter om de klarer å behandle alle containerne med kun én reachstacker. Til slutt vil vi forsøke å redusere antall terminalarbeidere. Det overordnede vil være å overholde EU-kravet i forhold til lastebilenes gjennomløpstid, men vi vil også se på eventuelle reduksjoner i containervolumet som hentes og leveres.

### 6.3.1.1 Reduksjon av ressurser knyttet til håndtering av tog

#### Redusere antall lastespor hos RailCombi

I dette eksperimentet vil vi ta bort ett av RailCombis lange lastespor, slik at de nå har to lastespor totalt; ett kort og ett langt.

Vi undersøker først effekten på kapasitetsutnyttelsen til alle ressursene som benyttes for å håndtere togene hos RailCombi (langt spor, kort spor, spor 9, skiftelokomotiv og spor 8).

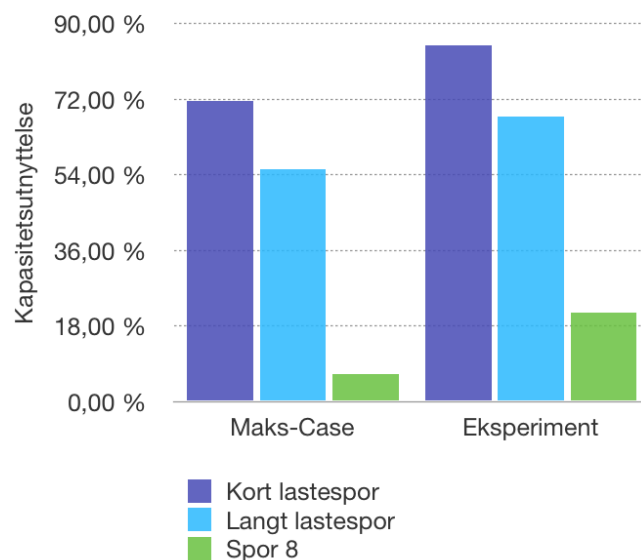


Figur 56 - Reduksjon av lastespor RailCombi

Som vi ser i figur 56 vil vi få en liten økning i kapasitetsutnyttelsen på det korte og det lange sporet. På spor 9 derimot vil vi få en større økning, med et nytt gjennomsnitt på 78,9%. Kapasitetsutnyttelsen på skiftelokomotivet og da følgelig kronstadsporet vil også øke, noe som forteller oss at det nå skjer flere skiftninger mellom spor 9 og lastesporene. Siden kapasitetsutnyttelsen øker drastisk på spor 8, med et nytt gjennomsnitt på 26%, ser vi at det ikke er realistisk å kunne redusere antall lastespor hos RailCombi. Det er derfor ikke nødvendig å undersøke eventuelle endringer i togenes gjennomløpstid.

### Fjerne spor 9

I dette eksperimentet vil vi beholde begge de to lange lastesporene hos RailCombi, men fjerne hensettingssporet, siden dette har en annen funksjon enn lastesporene. I vår modell er dette bare delvis sant, siden lastingen skjer på både spor 9 og lastespor, mens lossing kun kan skje på lastesporene (se 5.6.7).



Figur 57 - Uten hensettingsspor RailCombi

Det korte og de lange sporene til RailCombi vil som følge av endringen få en liten økning i kapasitetsutnyttelsen, som vist i figur 57. Den største effekten ser vi derimot på spor 8. Siden kapasitetsutnyttelsen her øker kraftig, som også var tilfelle i eksperimentet over, ser vi at det ikke er realistisk å redusere antall ressursenheter som skal behandle togene.

Våre funn fra eksperimentene over er derfor at lastesporene og hensettingssporet er de største flaskehalsene på Nygårdstangen, noe som også er i tråd med funnene fra Dovre Group-rapporten (Finsveen et.al., 2016). Det er dog viktig å påpeke at våre funn er gjort med bakgrunn

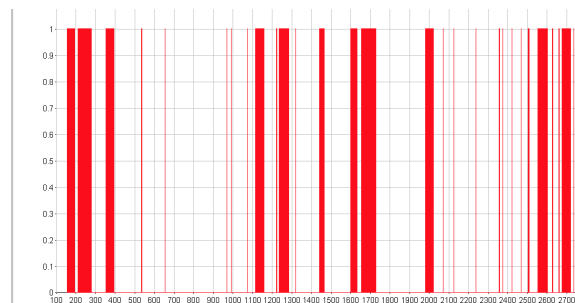
i den gjeldende ruteplanen, og at dersom denne endres, vil det kanskje være mulig å gjøre reduksjoner i togenes ressursene. Oppgaven vil for øvrig ikke undersøke dette nærmere.

### 6.3.1.2. Redusere antall ressurser knyttet til håndtering av lastebiler

Vi skifter nå fokuset over til ressursene som skal håndtere lastebiler, siden resultatene under 6.2 viste at kapasitetsutnyttelsen er relativt lav på de fleste ressursene. Her undersøker vi ressursene hos RailCombi, siden Green Cargo allerede bryter EU-kravet på ventetid for lastebiler, og dermed har behov for flere ressurser, heller enn færre. Vi undersøker først effekten av å fjerne trucken hos RailCombi. Deretter ønsker vi å redusere antall reachstackere til én, før vi til slutt ser på effekten av å redusere antall terminalarbeidere til tre.

#### Fjerne truck hos RailCombi

Figur 58 viser antall enheter i lageret til RailCombis truck over to døgn. Vi ser fra figuren at det er mye ledig tid på truck, og vi ønsker derfor å se effekten av å fjerne denne.



Figur 58 - Antall enheter i truck hos RailCombi

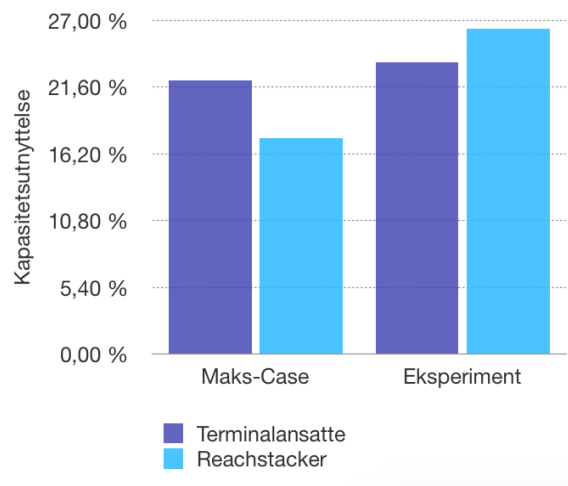
Fra resultatene ser vi at alle togene er ferdig håndtert innen avgangstidspunkt, og at det ikke er noen endringer i gjennomløpstiden eller kapasitetsutnyttelsen på ressursene knyttet til togene. Vi har også sammenlignet resultatene med konfidensintervallene fra 6.2, hvor vi ser at vi ikke får noen verdier utenfor dette dersom vi fjerner trucken. Videre ser vi at alle containerne losset ferdig, og at det lastes i snitt 362 TEU totalt over to døgn. 95 % av observasjonene befinner seg i intervallet (300 TEU, 424 TEU).

Det er som ventet større effekter på ressursene knyttet til håndtering av lastebiler og gjennomløpstiden til lastebilene, som følge av å fjerne trucken fra håndteringsutstyret til RailCombi.

Tabell 34 - Endringer i ventetid uten truck hos RailCombi

	Tidligere ventetid	Ny ventetid	95 % konfidensintervall
<b>Lastebiler henting</b>	3,32 min	6,37 min	(3.6 min, 9.14 min)
<b>Lastebiler levering</b>	3,52 min	4,92 min	(1.63 min, 8.21 min)

Vi ser fra tabell 34 at RailCombi fortsatt klarer å gi lastebilene en tilfredsstillende service, til tross for en liten økning i ventetid. Containervolumet som lastes vil også være det samme som volumet under maks-caset, selv om vi nå har fjernet trucken.

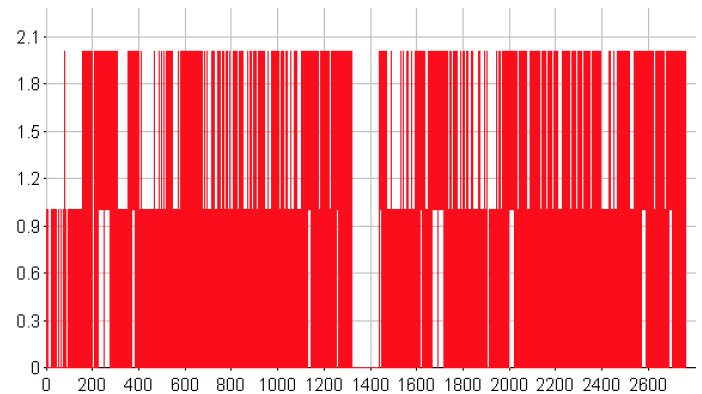


Figur 59 - Kapasitetsutnyttelse håndteringsressurser uten truck RailCombi

Vi får også en liten til moderat økning i kapasitetsutnyttelsen til terminalansatte og reachstackerne som følge av den nye endringen, som vist i figur 59.

### Fjerne truck og redusere antall reachstackere til én hos RailCombi

Figur 60 viser enheter i lageret til RailCombis reachstackere etter å ha fjernet trucken. Vi ser her at de i perioder er avhengig av minst én reachstacker. Dersom vi i tillegg til å fjerne trucken også reduserer antall reachstackere hos RailCombi, forventer vi at systemet skal bli vesentlig mer presset. Resultatene viser minimale forskjeller i togenes gjennomløpstid, og at alle togene blir ferdig behandlet før avgangstidspunkt (to tog venter på avgangstidspunkt). Det er derimot en liten økning i kapasitetsutnyttelse på noen av sporene, men vi anser økningen som så minimal at vi ikke velger å undersøke den videre. Videre ser vi at alle containerne losses fra toget, og at gjennomsnittlig containervolum som lastes er omtrent likt som før, med et gjennomsnitt på 360 TEU (305 TEU, 415 TEU).

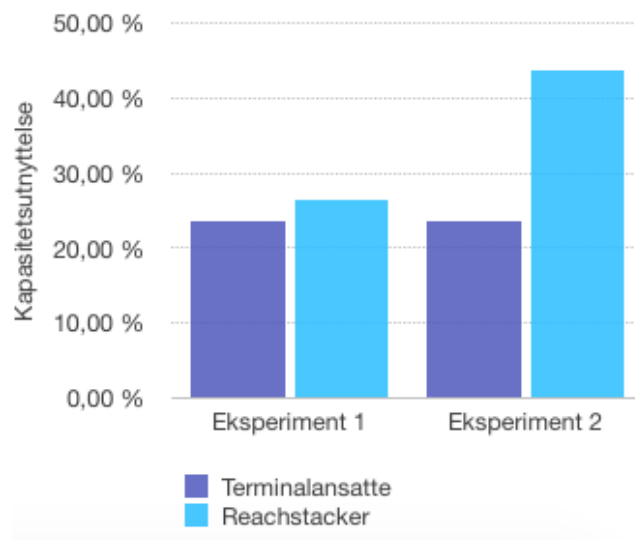


Figur 60 - Antall enheter i reachstacker hos RailCombi

I likhet med eksperimentet over, vil de største effektene av en reduksjon i håndteringsressurser vise seg i lastebilenes ventetider og de tilhørende kapasitetsutnyttelsene.

Tabell 35 - Endringer i ventetid uten truck og reduksjon i reachstacker hos RailCombi

	Tidligere ventetid	Ny ventetid	95 % konfidensintervall
<b>Lastebiler henting</b>	6,37 min	27,8 min	(21,13 min, 34,47 min)
<b>Lastebiler levering</b>	4,92 min	13,2 min	(6,40 min, 20 min)



*Figur 61 - Kapasitetsutnyttelse håndteringsressurser uten truck og reduksjon i reachstacker RailCombi*

Vi ser i figur 61 at kapasitetsutnyttelsen på terminalansatte vil få en liten økning. Den store endringen ser vi følgelig på kapasitetsutnyttelsen til reachstackeren, hvor vi får en økning på hele 17,47 %. For øvrig ser vi fra tabell 35 at de nå ikke klarer å møte EU-kravet i forhold til gjennomløpstid, og det vil derfor ikke være realistisk for RailCombi å operere med mindre enn to reachstackere.

### **Redusere antall terminalarbeidere, kun to reachstackere hos RailCombi**

Videre vil vi undersøke om det er mulig å ytterligere redusere antall ressurser i forbindelse med håndtering av lastebiler hos RailCombi. Vi beholder oppsettet med to reachstackere siden dette var optimalt, men reduserer nå antall terminalarbeidere fra fire til tre ressursenheter.

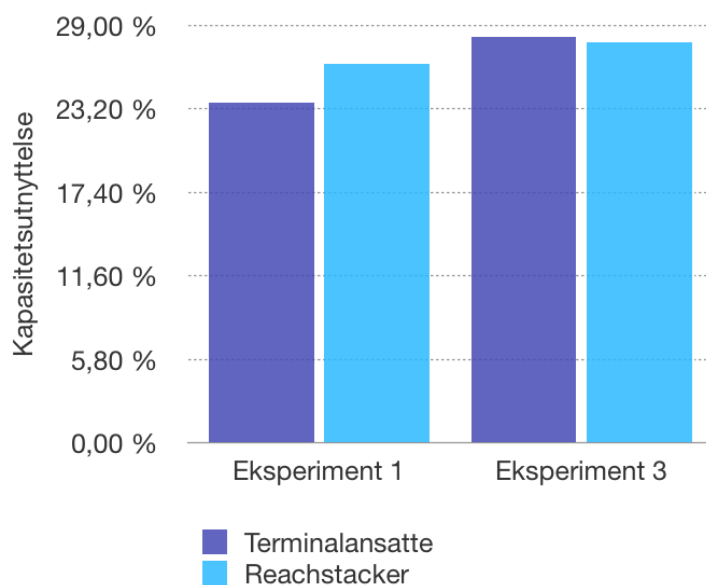
Fra resultatene ser vi at togene fortsatt blir håndtert i tide, men at tre tog ikke har forlatt terminalen. Dette skyldes for øvrig tilfeldigheter, ettersom ett tog noen ganger blir stående fast rett før skifting til avgangsporet på grunn av pausen hos RailCombi, som inntreffer omtrent likt som avgangstidspunktet. Videre ser vi at det kun er marginale endringer i gjennomløpstiden til togene og i kapasitetsutnyttelsen til de tilknyttede ressursene, og vi velger derfor å ikke undersøke dette nærmere. Det lastede volumet er også tilsvarende likt som i modellen hvor vi fjernet trucken, med et snitt på 346 TEU, hvor 95 % av observasjonene befinner seg i intervallet (258 TEU, 436 TEU). Modellen lossrer også alle containerne som ankommer terminalen.

De største effektene vil også her vise seg på lastebilenes gjennomløpstid og de tilknyttede ressursenes kapasitetsutnyttelse. Vi vil under sammenligne resultatene med modellen uten truck (eksperiment 1).

Tabell 36 - Endringer i ventetid uten truck og reduksjon i terminalansatte hos RailCombi

	Tidligere ventetid	Ny ventetid	95 % konfidensintervall
<b>Lastebiler henting</b>	6,37 min	6,4 min	(2.85 min, 9.95 min)
<b>Lastebiler levering</b>	4,92 min	4,24 min	(0.87 min, 7.61 min)

Tabell 36 viser at RailCombi klarer å levere en service som er overkommelig i forhold til EU-kravet, og at togene blir ferdig behandlet med kun to reachstackere og tre terminalarbeidere. 95 % av observasjonene av lastebilers ventetid befinner seg under 10 minutter, og vi ser derfor at servicen kan betegnes som mer enn tilstrekkelig.



Figur 62 - kapasitetsutnyttelse håndteringsressurser reduksjon i terminalarbeidere RailCombi

I figur 62 ser vi også at kapasitetsutnyttelsen til terminalansatte og reachstacker øker med henholdsvis 4,6 % og 1,45 %. Allikevel vil modellen som tidligere diskutert undervurdere kapasitetsutnyttelsen på terminalarbeidere, på grunn av avgrensningene (5.6.1, 5.6.2, 5.6.5, 5.6.8 og 5.6.1.0). Vi vil derfor være forsiktige med å trekke for klare konklusjoner rundt det siste eksperimentet.

### **Green Cargo - fjerne truck og øke antall ressurser på reachstacker**

Avslutningsvis ønsker vi kort å undersøke om en økning i antall reachstackere hos Green Cargo vil ha en positiv effekt på ventetidene til lastebilene. Antagelsen er at det er semivognene som skaper de lange ventetidene hos Green Cargo, og vi fjerner derfor trucken og erstatter den med en ekstra reachstacker. Fra resultatene ser vi at alle togene blir ferdig håndtert innen avgang, og at det ikke er noen markante endringer i kapasitetsutnyttelse på ressursene eller i gjennomløpstiden tilknyttet togene.

Alle containerne vil losses som tidligere, og det lastes i gjennomsnitt 359 TEU, hvor 95 % av observasjonene befinner seg i intervallet (308 TEU, 410 TEU). På håndteringsutstyret øker kapasitetsutnyttelsen på reachstackeren markant, fra 11,77 % til 33,17 %, som følge av å bytte ut trucken med en ekstra reachstacker. I tillegg får terminalarbeiderne en liten økning i kapasitetsutnyttelsen, fra 31,5 % til 33,17%.

*Tabell 37 - Tabell 36 - Endringer i ventetid uten truck og økning i reachstacker  
Green Cargo*

	<b>Tidligere ventetid</b>	<b>Ny ventetid</b>	<b>95 % konfidensintervall</b>
<b>Lastebiler henting</b>	13,69 min	17,48 min	(10.82 min, 24.14 min)
<b>Lastebiler levering</b>	37.01 min	27,83 min	(15.17 min, 40.49 min)

I tabell 37 ser vi også at ventetidene for lastebiler forandrer seg, hvor de som henter containere hos Green Cargo får en økt ventetid, mens de som skal levere containere får en markant reduksjon i ventetid.

Selv om Green Cargo ikke vil klare å imøtekomme EU-kravet ovenfor lastebiler som skal levere, viser ventetidene at de allikevel bør bytte ut trucken med en ekstra reachstacker, fordi



---

reduksjonen i ventetid på levering er såpass mye større enn den økte ventetiden på henting. Åpningstidene vil som tidligere diskutert også ha effekter på ventetidene som vi ikke klarer å isolere.

### 6.3.2 Øke lastebilenes ankomstrate

En økning i containervolum hadde som vi så under 6.2 en liten effekt på kapasitetsutnyttelsen til de tilknyttede ressursene, samt på ventetidene til lastebilene. Dette tror vi skyldes at ankomstratene er uforandret, da vi ser at det spesielt er på levering de største forandringene i ventetid forekommer. Vi ønsker derfor å endre ankomstraten på lastebiler som henter og leverer containere, for å undersøke effekten på gjennomløpstid og gjennomstrømningsrate for lastebiler.

Ved levering av containere vil vi nå ikke lenger skille mellom lastebiler som ankommer før og etter klokken 08:20, og vil derfor anta en lik ankomstrate gjennom hele døgnet. For lastebiler som skal hente containere vil vi ikke lenger skille mellom de ulike togparene, men kun ha én fast ankomstrate for alle togene. Vi vil først beholde variasjonen i ankomstene lik en Erlang-1 fordeling, men i 6.3.3 ønsker vi å redusere variabiliteten slik at ankomstene er Erlang 5-fordelt, for å undersøke effekten av variabilitet i et mer presset system. Resultatene og variasjoner i resultatene kan finnes i vedlegg 8.

#### 6.3.2.1 Ankomstrate lik 5 minutter

I dette eksperimentet setter vi ankomstraten til lastebiler på både henting og levering lik 5 min, som tilsier at det vil ankomme 576 lastebiler som skal levere containere i løpet av modellens simuleringslengde. Det tilsvarende antallet er likt for lastebiler som skal hente containere, siden vi baserer oss på maks-case modellen. I løpet av to døgn skal det altså behandles totalt 1 152 lastebiler, med en ankomstrate lik 5 minutter.

Fra modellen ser vi at det nå lastes i snitt 541 TEU, hvor 95 % av observasjonene ligger i intervallet (527 TEU, 555 TEU). Dette er en klar økning fra maks-caset, hvor det gjennomsnittlige lastede volumet var på 362 TEU. Totalt vil det si at det nå fraktes et gjennomsnittlig volum på 1 217 TEU per to døgn, hvor lengden på konfidensintervallet er (1 203 TEU, 1 231 TEU). Det årlige volumet vil i gjennomsnitt være på 146 735 TEU (145 047

TEU, 148 423 TEU), og vi ser derfor at vi opererer innenfor den uttalte kapasitetsgrensen nevnt i 1.2.

Tabell 38 - Endringer i ventetid lastebil

Ankomstrate 5 min	RailCombi	Green Cargo
<b>Henting</b>	Økning i ventetid på 28,18 min.  Ny ventetid: 31,5 min. <i>(25.87 min, 37.15 min)</i>	Økning i ventetid på 24,65 min.  Ny ventetid: 38,34 min. <i>(31.29 min, 45.39 min)</i>
<b>Levering</b>	Reduksjon i ventetid på 0,21 min.  Ny ventetid: 3,31 min <i>(2.17 min, 4.45 min)</i>	Reduksjon i ventetid på 13 min.  Ny ventetid: 24 min. <i>(11.16 min, 36.96 min)</i>

Vi ser i tabell 38 at ventetidene for lastebiler som skal hente containere hos både RailCombi og Green Cargo ikke tilfredsstillende EU-kravet, og at ankomstraten derfor må reduseres for å kunne gi en tilfredsstillende service. For øvrig ser vi at ventetidene på lastebiler som leverer går ned fra maks-caset, noe som kan skyldes at ankomstene blir jevnere med et fast intervall. Dette fordi det tidligere var en betydelig forskjell i ankomstraten for lastebiler som leverte før og etter klokken 08:20.

En av grunnen til at lastebiler som henter får slike drastiske økninger i gjennomløpstiden, er at mange av togene ankommer med korte intervaller om natten. Modellen vil sende et signal til lastebilene, slik at det vil ankomme 12 lastebiler i timen til hvert tog over en kort tidsperiode. Det vil derfor som følge av dette oppstå køer, hvor kapasitetsutnyttelsen går mot 100 %, og hvor variabiliteten i ankomstene vil medføre en ytterligere økning i kølengden. Vi ser derfor at en ankomstrate på 5 minutter ikke er optimalt for lastebiler som henter, da begge operatørene bryter med EU-kravet. Ved levering ser vi for øvrig at servicen bedres i forhold til maks-caset, samt at det totale fraktede volumet økes betydelig. Siden EU-kravet ikke tilfredsstilles, har vi valgt å ikke undersøke eventuelle endringer i kapasitetsutnyttelse her.

### 6.3.2.2 Ankomstrate til 10 minutter

Videre ønsker vi å sette ankomstraten til 10 minutter både på lastebiler som henter og leverer containere, for å se om dette kan ha en positiv effekt for lastebiler som skal hente containere. Vi ser fra resultatene at det nå er noen containere som går direkte fra tog til lastebil, og vi må også inkludere tallene fra disse. Lastebilene som henter direkte fra tog vil ha en gjennomsnittlig ventetid på 19,28 minutter, men her har vi ikke noe sammenligningsgrunnlag fra maks-caset.

Modellen lossar i gjennomsnitt 668 TEU til depot, og resten direkte til lastebil. Videre ser vi at modellen nå laster et betydelig mindre volum enn under 6.3.2.1, med et gjennomsnitt på 358 TEU per to døgn. Dette gir et totalt gjennomsnittlig containervolum per to døgn på 1 034 TEU som Nygårdstangen må ha ressurser til å håndtere.

Tabell 39 - Endringer i ventetid lastebil

Ankomstrate 10 min	RailCombi	Green Cargo
<b>Henting</b>	Økning i ventetid på 11,8 min.  Ny ventetid: 15,14 min. <i>(12.28 min, 18 min)</i>	Økning i ventetid på 13,28 min.  Ny ventetid: 26,97 min. <i>(23.7 min, 30.24 min)</i>
<b>Levering</b>	Reduksjon i ventetid på 0,48 min.  Ny ventetid: 3,04 min <i>(1.08 min, 5 min)</i>	Reduksjon i ventetid på 12,56 min.  Ny ventetid: 24,45 min <i>(17.02 min, 31.88 min)</i>

Vi ser fra tabell 39 at Green Cargo fortsatt ikke tilfredsstillere EU-kravet for lastebiler som skal hente og levere, men at ventetidene for levering nå er lavere enn under maks-caset. Likevel er økningen i ventetid på henting av containere større enn reduksjonen i ventetid for levering, mens det lastede volumet er omtrent som før. Vi ser derfor at det ikke er optimalt med en ankomstrate på 10 minutter. Avslutningsvis ser vi at kapasitetsutnyttelsen til

håndteringsressursene er omtrent like, men at vi får en 3 % økning i kapasitetsutnyttelsen på trucken til RailCombi. Kapasitetsutnyttelsen til de ulike ressursene kan ses i vedlegg 3.

### 6.3.2.3 Ankomstrate lik 15 minutter

Siden en ankomstrate på 10 minutter ikke var helt optimalt for Green Cargo, ønsker vi å se effekten av en ankomstrate på 15 minutter. Også her vil noen lastebiler hente containere direkte fra tog, men dette gjelder kun hos RailCombi. Ventetiden for lastebilene som henter direkte er i gjennomsnitt 17,7 minutter, altså noe lavere enn med en ankomstrate lik 10 minutter. For øvrig vil det lastede containervolumet nå reduseres kraftig, hvor det nye gjennomsnittlige containervolumet er 245 TEU. Dette er en nedgang på 117 TEU per to døgn fra maks-caset.

Tabell 40 - Endringer i ventetid lastebil

Ankomstrate 15 min	RailCombi	Green Cargo
<b>Henting</b>	Økning i ventetid på 7,87 min.  Ny ventetid: 11,19 min. <i>(8.59 min, 13.79 min)</i>	Økning i ventetid på 7,68 min.  Ny ventetid: 21,37 min. <i>(16.75 min, 25.99 min)</i>
<b>Levering</b>	Reduksjon i ventetid på 2,59 min.  Ny ventetid: 0,93 min <i>(0 min, 3.38 min)</i>	Reduksjon i ventetid på 14 min.  Ny ventetid: 22,96 min <i>(5.18 min, 40.74 min)</i>

Vi ser fra tabell 40 at Green Cargo nesten klarer å overholde EU-kravet for lastebiler på både henting og levering. Samtidig ser vi at RailCombi også her klarer å gi lastebilene en tilfredsstillende service, med en ventetid tilnærmet null for lastebilene som skal levere containere. Containervolumet er for øvrig kraftig redusert, siden ankomstraten på lastebiler som skal levere er mye lavere enn under maks-caset. Vi ser derfor at lastingen går for tregt, og at en ankomstrate på 15 minutter ikke er optimalt. Også her vil endringene i

kapasitetsutnyttelsen på lastebilenes ressurser være så liten at vi ikke vil diskutere det utdypende. For øvrig kan beregningene sees i vedlegg 3.

### 6.3.3 Redusert variabilitet i lastebilers ankomst

Fra 5.3 ser vi at mange av håndteringstidene er tilnærmet like Erlang 4 og 5 - fordelinger, noe som tyder på lav variabilitet i prosesseringstidene. Datasettene for lastebilers ankomst (både henting og levering) fra 5.2 og 5.4.1 er tilnærmet like Erlang 1-fordelingen (når vi definerer intervaller), hvilket tyder på at variabiliteten i ankomstraten på lastebiler er høy. Dette har vi selv erfart under observasjoner, hvor vi så at lastebiler ofte ankommer i klynger, og at de gjerne ikke var knyttet til et nylig innkommet tog.

I dette eksperimentet vil vi benytte de samme ankomstratene som under 6.3.2.2 og 6.3.2.3, og undersøke effekten av å redusere variabiliteten fra Erlang 1 til Erlang 5 i de tilknyttede ankomstene. Grunnen til at vi velger å undersøke effekten av lavere variabilitet på akkurat disse ankomstratene, er at ventetidene til lastebilene hos Green Cargo ikke er langt unna EU-kravet på 20 minutter, og vi vil derfor undersøke om en lavere variabilitet kan bidra til at de klarer å overholde dette kravet.

#### 6.3.3.1 Effekten av lavere variabilitet i ankomstene til lastebiler

Tabell 41 - Lastebiler henting med Erlang 1-fordeling

Tognummer	5501	5511	5519	5515	5505	5507
Gjennomsnitt	45,43	12	23,38	6,34	72,63	89,16
Standardavvik	70,31	27,41	46,33	10,53	106,5	146,47
CV	1,55	2,28	1,98	1,66	1,47	1,64
Variabilitetsklasse	Høy	Høy	Høy	Høy	Høy	Høy

Det er viktig å presisere at variabiliteten som er beregnet i tabell 41 ikke inkluderer ekstremverdiene i datasettet, siden vi har definert intervaller (se 5.2) for å få de til å passe med en eksponentialfordeling. I denne simuleringen vil for øvrig ikke ekstremverdiene inkluderes, siden vi antar at lastebilene ankommer hvert 10 eller 15 minutt respektivt. Eksperimentet kan derfor ses på som innføring av en slags kø-ordning for lastebilene.

*Tabell 42 - Lastebiler henting med Erlang 5-fordeling*

<b>Tognummer</b>	<b>5501</b>	<b>5511</b>	<b>5519</b>	<b>5515</b>	<b>5505</b>	<b>5507</b>
<b>Gjennomsnitt</b>	45,43	12	23,38	6,34	72,63	89,16
$\lambda = 5/\mu$	0,11	0,4167	0,2139	0,789	0,068	0,056
$E = (X)$	45,43	12	23,38	6,34	72,63	89,16
<b>Standardavvik</b>	20,32	5,37	10,46	2,84	32,48	39,87
<b>CV</b>	0,447	0,447	0,447	0,448	0,447	0,447
<b>Variabilitetsklasse</b>	Lav	Lav	Lav	Lav	Lav	Lav

Tabell 42 viser at standardavvikene reduseres kraftig som følge av en omgjøring av dataene fra Erlang 1-fordeling til Erlang 5-fordeling. Den samme omgjøringen må også gjøres for lastebilene som skal levere containere (se tabell 43), men her er utgangspunktet kun én dag, siden vi har slått sammen datamaterialet fra de tre dagene (se 5.4.1).

Tabell 43 - Lastebiler levering med Erlang fordeling

	Med Erlang 1 fordeling		Med Erlang 5 fordeling	
	Under 500 min	Over 500 min	Under 500 min	Over 500 min
Gjennomsnitt	21,45 min	7,73 min	21,45 min	7,73 min
$\lambda = 5/\mu$	-	-	0,233	0,647
$E = (X)$	-	-	21,45 min	7,73 min
Standardavvik	31,5 min	10,12 min	9,59 min	3,46 min
CV	1,46	1,31	0,447	0,447
Variabilitetsklasse	Høy	Moderat	Lav	Lav

### 6.3.3.2 Ankomstrate 10 min med Erlang 5-fordeling

Vi ser at en reduksjon i variabilitet har en relativt liten effekt på systemet som helhet. Modellen laster nå i gjennomsnitt 364 TEU (313 TEU, 415 TEU), som er omtrent det samme som modellen gjør med Erlang 1 fordelinger. Noen lastebiler henter også direkte fra tog hos RailCombi, hvor gjennomsnittlig ventetid er 18.08 minutter (7.18 min, 28.98 min), som tilsier en liten reduksjon på 1.2 minutter i gjennomsnitt.

Tabell 44 - Endringer i ventetid lastebiler

Ankomstrate 10 min	RailCombi	Green Cargo
<b>Henting</b>	Reduksjon i ventetid på 2,31 min.  Ny ventetid: 12,83 min <i>(10.83 min, 14.77 min)</i>	Reduksjon i ventetid på 1,76 min.  Ny ventetid: 25,21 min <i>(20.86 min, 29.56 min)</i>
<b>Levering</b>	Reduksjon i ventetid på 0,16 min.  Ny ventetid: 2,88 min <i>(0.94 min, 4.82 min)</i>	Reduksjon i ventetid på 0,82 min.  Ny ventetid: 23,63 min <i>(16.15 min, 31.13 min)</i>

Tabell 44 viser at lastebiler som henter hos RailCombi vil få en størst reduksjon i ventetiden, på henholdsvis 2.31 minutter, men at også Green Cargos lastebiler får en effekt av redusert variabilitet. Vi ser derimot at redusert variabilitet på ankomstraten ikke helt gir oss de store effektene som vi håpet på, og at Green Cargo fortsatt ikke klarer å tilfredsstille EU-kravet på 20 minutter gjennomløpstid.

### 6.3.3.3 Ankomstrate 15 min med Erlang 5-fordeling

Med 8 lastebiler som ankommer i timen for å hente og levere containere, ser vi at effekten av lavere variabilitet er relativt liten også her. Gjennomsnittlig lastet containervolum er 242 TEU (186 TEU, 287 TEU), og vi ser derfor at redusert variabilitet har liten effekt på containervolumet. Noen lastebiler henter også her containere direkte fra tog, hvor gjennomsnittlig ventetid er på 15.86 minutter (7.45 min, 24.27 min)



Tabell 45 - Endringer ventetid lastbiler

<b>Ankomstrate 15 min</b>	<b>RailCombi</b>	<b>Green Cargo</b>
<b>Henting</b>	Reduksjon i ventetid på 3,8 min.  Ny ventetid: 7.39 min <i>(5.01 min, 9.77 min)</i>	Reduksjon i ventetid på 2 min.  Ny ventetid: 19.37 min <i>(15.08 min, 23.66 min)</i>
<b>Levering</b>	Økning i ventetid på 0,48 min.  Ny ventetid: 1.41 min <i>(0 min, 3.31 min)</i>	Økning i ventetid på 1,66 min.  Ny ventetid: 24.62 min <i>(0 min, 52.67 min)</i>

Vi ser fra tabell 45 at lastebiler som skal hente containere fra RailCombi får en større reduksjon i gjennomløpstiden ved 15 minutters ankomstrate, sammenlignet med 10 minutters ankomstrate. Lastebiler som skal levere containere til Green Cargo har fortsatt en gjennomløpstid som overstiger EU-kravet. Her ser vi for øvrig at lastebiler som skal levere til Green Cargo har en lavere ventetid når ankomstraten er 5 minutter, og at effekten av en lavere ankomstrate er vanskelig å forutsi. Totalt sett ser vi at en ankomstrate på 15 minutter er ideell for lastebiler som skal hente containere.

## 7. Diskusjon av funn

Dersom vi ser på systemet som en helhet, finner vi at ressursene som skal prosessere togene utgjør de største flaskehalsene. Herunder er det lastesporene og hensettingssporet som er mest presset, med en kapasitetsutnyttelse som overstiger 55 % på samtlige ressurser. Dersom vi øker containervolumet opp til togenes kapasitet finner vi for øvrig at verken gjennomløpstiden eller kapasitetsutnyttelsen til togenes ressurser forandres. Dette skyldes at gjennomløpstiden til toget styres av ruteplanen, som legger føringer for hvor lenge togene oppholder seg på sporene.

Når vi videre eksperimenterer med togenes ressurser, ser vi at det ikke er mulig å redusere antall lastespor hos RailCombi, eller fjerne hensettingssporet. Grunnen til dette er at togene vil vente på ankomst- og avgangssporet (spor 8), fordi lastesporene og hensettingssporet er opptatt. Dette vil følgelig blokkere for alle innkommende og utgående tog på terminalen, og dermed forsinke både persontogene og de andre godstogene.

Dersom vi undersøker håndteringsutstyret som skal håndtere containerne, og dermed gi lastebilene service, ser vi allerede under base-caset at lastebilene som skal levere containere til Green Cargo vil ha ventetider som ikke tilfredsstillende EU-kravet. Selv om vi justerer for pausene i den totale ventetiden, tror vi at måten systemet er modellert på vil slå ekstra hardt ut på lastebilene som skal levere hos Green Cargo. Dette fordi Green Cargo holder stengt 7 timer per døgn, mens RailCombi holder stengt 2 timer per døgn. Siden lastebilene leverer containere kontinuerlig gjennom døgnet, vil effekten av åpningstider følgelig være størst hos Green Cargo. Vi må derfor tolke disse resultatene med forsiktighet.

Når vi eksperimenterer med ressursene som skal behandle lastebiler og containere hos RailCombi, ser vi at det er mulig å fjerne trucken som håndteringsutstyr. Dette medførte en minimal økning på ventetidene til lastebilene, samt at det økte kapasitetsutnyttelsen på reachstackerne med nesten 9 %. Vi vil derfor anbefale RailCombi å implementere denne løsningen. Videre ser vi fra eksperimentene at det ikke er mulig å både fjerne trucken og samtidig redusere antall reachstackere til én (hos RailCombi), siden dette medfører ventetider for lastebilene som ikke tilfredsstillende EU-kravet. Derimot ser vi at det er mulig å redusere antall terminalansatte med én, siden ventetiden til lastebiler fortsatt er tilfredsstillende og innenfor kravet. Effektene på ressursene er at terminalarbeiderne får en økt kapasitetsutnyttelse på 4,6 %, mens reachstackerne får en marginal økning i

---

kapasitetsutnyttelse. For øvrig er vi forsiktige med å anbefale denne løsningen, siden mange av avgrensningene vi har tatt vil medføre at vi undervurderer den reelle kapasitetsutnyttelsen på terminalarbeiderne hos RailCombi.

Videre ser vi at Green Cargo vil få en markant reduksjon i ventetidene til lastebiler som skal levere dersom de erstatter trucken med en ekstra reachstacker, selv om ventetider for lastebiler som skal hente containere vil øke noe. Ut fra et operasjonelt perspektiv vil vi derfor anbefale Green Cargo å kun bruke to reachstackere, selv om vi vet at de har et mindre område å drive håndtering på, og at trucken kan være enklere å manøvrere enn en reachstacker.

Når vi øker ankomstratene på lastebilene til 5 minutter, ser at vi det årlige estimerte volumet er innenfor den uttalte kapasitetsgrensen på 145 000 TEU. Her ser vi for øvrig at presset i systemet medfører en ventetid på i gjennomsnitt 31,5 minutter for lastebiler som skal hente containere fra RailCombi. Dette skyldes at togene ankommer Nygårdstangen med korte intervaller, slik at det vil ankomme mange lastebiler innen et kort tidsrom, hvor køene vil øke ved høyere ankomstrater. For å øke det årlige containervolumet er vi for øvrig opptatt av å kunne laste så mange containere som mulig på togene, siden vi ser at ventetidene til lastebilene som leverer reduseres ved høyere ankomstrater. Dette tilsier at det er mulig å operere et høyere containervolum enn den uttalte kapasitetsgrensen, dersom leveringene blir hyppigere. Når vi senker ankomstraten til 10 minutter ser vi at dette stemmer, siden vi nå får det samme containervolumet som under maks-caset, altså en betydelig reduksjon. For øvrig vil ventetidene for lastebiler som skal hente nå reduseres, mens ventetidene for lastebiler som skal levere vil øke med lavere ankomstrater.

Vi ser derfor at lastebiler som leverer og henter bør ha forskjellige ankomstrater, hvor de som henter bør ha ankomstrate på 15 minutter, mens de som leverer bør ha ankomstrate på 5 minutter og under. Det bør her bemerkes at ankomstraten på lastebiler vil være avhengig av hvor tett togene ankommer, og at den derfor må koordineres med ruteplanen. Avslutningsvis undersøker vi kort hvilken effekt redusert variabilitet har på servicetidene. Her finner vi at lavere variabilitet gir en moderat reduksjon i ventetiden til lastebiler som skal hente, og at effekten er størst hos RailCombi. Vi ser også at effekten er større ved 15 minutters ankomstrate, noe som tilsier at flyten nå er jevnere på henting av containere.

## 7.1 Konklusjon

Vi har i denne oppgaven undersøkt Nygårdstangen godsterminal gjennom en egenutviklet simuleringmodell, hvor input til modellen er basert på empiriske data, som er samlet inn gjennom strukturert observasjon av operasjonene på terminalen.

Vi finner at lastesporene og hensettingssporet er de største flaskehalsene i systemet, og at det ikke er mulig å redusere antall ressurser som skal behandle tog, uten å endre ruteplanen. Videre finner vi at RailCombi har mulighet til å effektivisere sine håndteringsoperasjoner gjennom å fjerne trucken, og kun operere med to reachstackere. For Green Cargo vil vi anbefale å bytte ut trucken med én ekstra reachstacker, siden vi ser at det har god effekt på servicetidene til lastebilene som skal levere containere.

Resultatene fra analysen indikerer at kapasitetsgrensen på terminalen er i størrelsesorden 145 000 - 150 000 TEU, men at denne størrelsen er avhengig av ankomstraten til lastebilene som skal levere containere. Dette fordi terminalens volum beregnes med utgangspunkt i fraktet volum, og det er derfor viktig å få økt det lastede volumet, uten at det går på bekostning av servicen til lastebilene som henter containere. Det vil altså være mulig å øke kapasitetsgrensen, men det vil kreve en bedre organisering av lastebiler som skal hente og levere containere, hvor ankomstratene må være forskjellige på grunn av ruteplanen. Med dagens ruteplan ankommer togene tett, slik at lastebiler som henter containere må ha en lavere ankomstrate enn lastebiler som leverer, for at systemet skal kunne gi begge kunder en god service.

## 7.2 Videre forskning

For de som ønsker å gjøre en simulasjon av en terminal, vil vi anbefale å forberede og planlegge datainnsamlingen nøye. Blant annet bør man forsøke å få innsyn i det historiske containervolumet til terminalen før man samler inn data, slik at man kan basere utvalget på de dagene hvor etterspørselen er høy. Her vil det være spesielt viktig å samle inn containervolum og ankomstrater på lastebiler fra de samme datoene, ettersom de i høy grad påvirker hverandre, og presset i systemet.

Systemet kan presses på ulike måter; øke containervolumet og dermed antall lastebiler, fjerne eller redusere ressurser og endre ankomstraten til lastebilene som systemet skal betjene. I tillegg kan man selvfølgelig øke antall tog og lengdene på de, og dermed containervolumet.

Sistnevnte krever for øvrig en endring av ruteplanen, som i følge Trond Sunde (personlig melding, 27.04.2017) både er tilpasset godsselskapenes bestillinger og med hensyn til tog lengder, siden mange av kryssingssporene er korte. Videre forskning på optimalisering av ruteplanen bør derfor gjøres med utgangspunkt i hva kundene ønsker, og deretter bør man undersøke hva som er mulig å gjennomføre rent teknisk.

Det mest fordelaktige hadde vært å fordele etterspørselen jevnt utover uken, men dette virker vanskelig å implementere i praksis. Hovedgrunnen til dette er fordi kundene til godsselskapene ofte er store distributører, som vil minimere kostnaden på transport i forhold til bemanning og lagerholdskostnader. Siden mye av godset som går på jernbane tilhører dagligvare, vil etterspørselen naturlig være større tidlig i uken. I tillegg har kundene også substitutt-muligheter siden godset kan fraktes på vei. Derfor må et eventuelt arbeid med å spre etterspørselen utover uken være et resultat av et langvarig samarbeid mellom godsselskapene og kundene.

Avslutningsvis vil vi også bemerke at en sammenslåing av de to terminaloperatørene sannsynligvis ville gitt de største effektene med hensyn til terminalens kapasitet. Vi valgte for øvrig å ikke innlemme dette i denne utredningen, for å holde fokus på de tiltakene som vi mener kan være mulig å gjennomføre på terminalen slik den er i dag. Det kan selvfølgelig diskuteres hvorvidt det er praktisk gjennomførbart å øke ankomstraten til lastebilene. Det vil derfor være spennende å undersøke hvorvidt kundene er villige til å spre etterspørselen utover uken, og hvorvidt de vil være villige til å akseptere en mer rigid hente- og leveringsplan for containerne.

## Litteraturliste

Anupindi, R., Chopra, S., Deshmukh, S.D., Van Mieghem, J.A., & Zemel, E. (2014). *Managing Business Process Flows* (Third edition). Pearson Education Limited.

Bane NOR. (2017a). Bergen godsterminal Nygårdstangen. Hentet fra <http://www.banenor.no/kundeportal/jernbanen-i-norge/infrastruktur/godsterminaler/bergen-godsterminal-nygardstangen/>

Bane NOR. (2017b). Definisjoner og begreper. Hentet fra <http://orv.jbv.no/terminalhandboken/doku.php?id=public:drift:definisjoner>

Banks, J., Carson, J. S., & Nelson, B. N. (1996). *Discrete-event System Simulation*. (Second Edition). Prentice Hall.

Banks, J. (1998). *Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice*. John Wiley & Sons, Inc.

Ballis, A., Golias, J. & Abacoumkin, C. (1997). A comparison between conventional and advanced handling systems for low volume container maritime terminals. *Maritime Policy & Management*. 24 (1), 73–92. Hentet fra <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03088839700000057>

Ballis, A. & Golias, J. (2002). Comparative evaluation of existing and innovative rail-road freight transport terminals. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 36 (7), 593–611. Hentet fra <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856401000246>

Bergen Kommune. (2016). *Detaljreguleringsplan Bergen godsterminal Nygårdstangen*. (Plannummer 64820000). Norconsult. Hentet fra [https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00289/Planbeskrivelse\\_med\\_289901a.pdf](https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00289/Planbeskrivelse_med_289901a.pdf)

CargoNet. (2016). Organisasjonen. Hentet fra [http://www.cargonet.no/om\\_cargonet/organisasjonen/](http://www.cargonet.no/om_cargonet/organisasjonen/)

Finsveen, J., Berntsen, S., Mossige, I., Lyngset, J., Hovi, I.B., Johansen, K.W., Berggraf, A., & Jordbakke, G. N. (2016) *Logistikknutepunkt i Bergensregionen - Kvalitetssikring av beslutningsunderlag for konseptvalg (KSI)*. (Rapportnummer D017a). Hentet fra [https://www.regjeringen.no/contentassets/22d0e28ac45d442a973bfd0eae7b72cc/sluttrapport\\_ks1\\_bergenpdf.pdf](https://www.regjeringen.no/contentassets/22d0e28ac45d442a973bfd0eae7b72cc/sluttrapport_ks1_bergenpdf.pdf)

Fordelingsforskriften for jernbanenettet. Forskrift 1. Januar 2002 nr. 1332 om fordeling av jernbaneinfrastrukturkapasitet og innkreving av avgifter for bruk av det nasjonale jernbanenettet

Green Cargo. (2014). Norge. Hentet fra <http://www.greencargo.com/en/norge1/>

Gripsrud, G., Olsson, U. H. & Silkoset, R. (2011). *Metode og dataanalyse* (andre utgave). Kristiansand: Høyskoleforlaget AS.

---

Hillier, F.S & Lieberman, G.J. (2005). *Introduction to operations research* (eighth edition). McGraw-Hill.

Hopp, W.J & Spearman, M.L. (2001). *Factory physics: foundations of manufacturing management* (second edition). Boston: Irwin McGraw-Hill.

Jernbaneverket. (2014) *KVU Voss-Arna, kapasitetsutredning* (Hovedrapport, 04/14). Hentet fra <http://www.jernbaneverket.no/contentassets/5d6955749f034aa6987774368a657c1c/kvu-voss---arna-2014.pdf>

Jernbaneverket. (2015). *Konseptvalgutredning logistikknutepunkt i Bergensregionen* (Hovedrapport, 11/15). Hentet fra [http://www.banenor.no/contentassets/f803e6f82ef1459e9012a2f4b5633d31/pou-00-a-00104-hovedrapport\\_hoyoppløselig.pdf](http://www.banenor.no/contentassets/f803e6f82ef1459e9012a2f4b5633d31/pou-00-a-00104-hovedrapport_hoyoppløselig.pdf)

Jernbaneverket. (2016). *Godsstrategi for jernbanen 2016-2029*. Hentet fra [http://www.banenor.no/contentassets/1310c139b88a44dd8041c9f350ed763d/jbv\\_godsstrategi\\_2016\\_trykk.pdf](http://www.banenor.no/contentassets/1310c139b88a44dd8041c9f350ed763d/jbv_godsstrategi_2016_trykk.pdf)

Law, A.M. (2015). *Simulation Modeling and Analysis* (fifth edition). McGraw-Hill education.

NHO logistikk og transport. (2014). *Varestrømsanalyse for Bergensregionen 2013*. (Oppdrag 532397 Varestrømsanalyse Bergensregionen). Asplan Viak AS. Hentet fra <http://nholt.no/getfile.php/Bilder/Varestr%C3%B8msanalyse%202013%20Final%20Version.pdf>

Norphoto (2017). *Bergen jernbanestasjon*. Hentet fra <https://norphoto.smugmug.com/keyword/bergen%20jernbanestasjon/>

Rizzoli, A., Fornara, N., & Gambardella, L.M. (2002). A simulation tool for combined rail/road transport in intermodal terminals. *Mathematics and Computers in Simulation*, 59 (1–3), 57–71. Hentet fra <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378475401003937>

Saunders, M. N. K., Lewis, P., & Thornhill, A. (2016). *Research methods for business students*. Harlow: Financial Times/Prentice Hall.

Skovdahl, O, Bryne, B & Bergqvist, L. (2012). *Høyhastighetsutredningen og godstransport - Diskusjonsgrunnlag*. (vedlegg C). Hentet fra [http://www.banenor.no/contentassets/15699efb1236412f90a4d66f17253cfb/vedlegg\\_c\\_diskusjonsgrunnlag\\_gods.pdf](http://www.banenor.no/contentassets/15699efb1236412f90a4d66f17253cfb/vedlegg_c_diskusjonsgrunnlag_gods.pdf)

Ståhl, I., & Born, R. (2013). *Modelling Business Processes With A General Purpose Simulation System*. Stockholm: SSE

Trondheim Havn. (2013). TEU. Hentet fra: <http://trondheimhavn.no/definisjon-teu.aspx>

Wolden, P.D. (2016, 17.mars). Vi skal ikke knekke CargoNet. *Moderne Transport*. Hentet fra <http://www.mtlogistikk.no/artikler/vi-skal-ikke-knekke-cargonet/351867>





---

## 8. Modell aGPSS

SIMULATE 10

arrive FUNCTION p\$tognr,D

1 83

2 163

3 214

4 245

5 267

6 357

7 1120

8 1242

9 1523

10 1603

11 1656

12 1685

13 1707

14 1797

15 2560

16 2682

depart FUNCTION p\$tognr,D

1 1148

2 532

3 669

4 1261

5 1700

6 1198

7 1331

8 2468

9 2588

10 1972

11 2109

12 2701

13 3140

14 2638

15 2771

16 3908

kap FUNCTION p\$tognr,D

1 52

2 30

3 50

4 28

5 52

6 42

7 42

8 42

9 52

10 30

11 50

12 28

13 52

14 42

15 42

16 42

std FUNCTION p\$togrn,D

1 29

2 12

3 23

4 15

5 35

6 19

7 14

8 13

9 29

10 12

11 23

12 15

13 35

14 19

15 14

16 13

semi FUNCTION p\$togrn,D

1 20

2 16

3 12

4 10

5 12

6 14

7 14

8 8

9 20

10 16

11 12

12 10

13 12

14 14

15 14

16 8

prob FUNCTION RN2,R

1 75

2 25

numcnv FUNCTION p\$togrn,D

1 1

2 5

3 6

4 7

5 2

6 8

7 9

8 10

9 3

10 11

11 12

12 13

13 4

14 14

15 15

16 16

---

snloss FUNCTION p\$togrn,D

1 45.33  
2 45.33  
3 12  
4 23.38  
5 23.38  
6 6.34  
7 72.63  
8 89.16  
9 45.33  
10 45.33  
11 12  
13 23.38  
13 23.38  
14 6.34  
15 72.63  
16 89.16

problo FUNCTION p\$togrn,D

1 6.25  
2 6.25  
3 1.12  
4 0  
5 0  
6 1.85  
7 5.7  
8 10.71  
9 6.25  
10 6.25  
11 1.12  
12 0  
13 0  
14 1.85  
15 5.7  
16 10.71

exsnlo FUNCTION p\$togrn,D

1 5721  
2 5721  
3 1646  
4 0  
5 0  
6 1898  
7 1423  
8 5026  
9 5721  
10 5721  
11 1646  
12 0  
13 0  
14 1898  
15 1423  
16 5026

LET X\$number=0

LET X\$loss=0

LET X\$last=0

1 CAPACITY 52

2 CAPACITY 52  
3 CAPACITY 52  
4 CAPACITY 52  
5 CAPACITY 30  
6 CAPACITY 50  
7 CAPACITY 28  
8 CAPACITY 42  
9 CAPACITY 42  
10 CAPACITY 42  
11 CAPACITY 30  
12 CAPACITY 50  
13 CAPACITY 28  
14 CAPACITY 42  
15 CAPACITY 42  
16 CAPACITY 42  
17 CAPACITY 52  
18 CAPACITY 52  
19 CAPACITY 52  
20 CAPACITY 52  
21 CAPACITY 30  
22 CAPACITY 50  
23 CAPACITY 28  
24 CAPACITY 42  
25 CAPACITY 42  
26 CAPACITY 42  
27 CAPACITY 30  
28 CAPACITY 50  
29 CAPACITY 28  
30 CAPACITY 42  
31 CAPACITY 42  
32 CAPACITY 42  
kort CAPACITY 1  
lang CAPACITY 2  
GCLOST CAPACITY  
RCLOSE CAPACITY  
GCLOSE CAPACITY  
RCLOST CAPACITY  
RCLAST CAPACITY  
RCLASE CAPACITY  
GCLAST CAPACITY  
GCLASE CAPACITY  
kron CAPACITY 1  
green CAPACITY 2  
rail CAPACITY 3  
labilG CAPACITY  
labilR CAPACITY  
spor9 CAPACITY 1  
spor8 CAPACITY 1  
reachG CAPACITY 1  
reachR CAPACITY 2  
truckG CAPACITY 1  
truckR CAPACITY 1  
arbG CAPACITY 2  
arbR CAPACITY 4  
lostbG CAPACITY

```

lostbR CAPACITY
losebR CAPACITY
losebG CAPACITY
lokom CAPACITY 1
lever1 VALUEOF fn$lt0(cl-500)*21.45
lever2 VALUEOF fn$ge0(cl-500)*fn$lt0(cl-1440)*7.73
lever3 VALUEOF fn$ge0(cl-1440)*fn$lt0(cl-1940)*21.45
lever4 VALUEOF fn$ge0(cl-1940)*7.73
  GENERATE ,,0,16
  LET+ x$number,1 ! Lar tog øke med 1 per ankomst
  LET p$tognr=x$number ! Lagrer tognummer
  LET p$depart=fn$depart
  LET p$kap=fn$kap
  LET p$std=fn$std
  LET p$semi=fn$semi/2
  LET p$loss=fn$numcnv
  LET p$last=fn$numcnv+16
  ADVANCE fn$arrive-8+5.19*fn$snorm
  LET p$arrive=cl ! Beregner ankomsttid i minutter etter midnatt
  ENTER spor8,1,Q ! Ankomstspor
  IF p$tognr=1,GCargo ! Hvis tognr 1 gå til GC (Loc: +1,-1)
  IF p$tognr=5,GCargo ! Hvis tognr 5 gå til GC
  IF p$tognr=9,GCargo ! Hvis tognr 9 gå til GC
  IF p$tognr=13,GCargo ! Hvis tognr 13 gå til GC
  IF rail=F,ankwai
raiwai ENTER rail,1,Q ! Ankomst RailCombi
  GRAPH cl,s$rail
  LEAVE spor8,1 ! Ankomstspor
RailC ENTER arbR,2,Q ! Arbeidere RailCombi
  ENTER lokom,1,Q ! Skiftelokomotiv
  ENTER kron,1,Q ! Kronstadsporet
  ADVANCE 10.125+1.78*fn$snorm ! Skiftetid
  LEAVE kron,1 ! Kronstadsporet
  LEAVE lokom,1 ! Skiftelokomotiv
  LEAVE arbR,2 ! Arbeidere RailCombi
  IF p$kap>48,lang1 ! Dersom langt tog, gå til langt spor
  IF kort=F,lang1 ! Dersom kort fult, gå til langt
  ENTER kort,1,Q ! Kort spor RailCombi
  GRAPH cl,s$kort
  LEAVE p$last,s(p$last) ! Tømmer togene ved ankomst
  ENTER p$loss,p$std,Q ! Angir standardcontainere i TEU
  ENTER p$loss,p$semi*2,Q ! Angir semi-containere i TEU
  SPLIT p$std,bilstR ! Signal lastebil henting RailCombi
  SPLIT p$semi,bilseR ! Signal lastebil henting RailCombi
  SPLIT p$std,lostR ! Start lossing standard RailCombi
  SPLIT p$semi,loseR ! Start lossing semi RailCombi
  WAITIF p$loss=NE ! Venter til lossing er ferdig
  LET p$end=cl ! Beregner håndteringslutt
  LET p$diff=p$depart-p$end ! Beregner tid holdt igjen
  IF Spor9=NF,check
waitk ADVANCE fn$f10(p$diff) ! Holder igjen tog til avgangstidspunkt
  LET+ x$last,s(p$last)
  PRINT 'last',s(p$last)
  ENTER p$last,r(p$last),Q ! Fyller opp togene ved avgang
  LEAVE kort,1 ! Kort spor RailCombi

```

---

```

    GRAPH cl,s$kort
dep  LEAVE rail,1 ! RailCombi lastespor
    GRAPH cl,s$rail
depG ENTER arbR,2,Q ! Arbeidere RailCombi
    ENTER lokom,1,Q ! Skiftelokomotiv
    ENTER kron,1,Q ! Kronstadsporet
    ADVANCE 10.125+1.78*fn$snorm ! Skiftetid
    LEAVE kron,1 ! Kronstadsporet
    LEAVE lokom,1 ! Skiftelokomotiv
    LEAVE arbR,2 ! Arbeidere RailCombi
    ENTER spor8,1,Q ! Avgangsspor
    LEAVE spor8,1 ! Avgangsspor
print PRINT 'TOGNUMMER ',p$tognr
    PRINT
    PRINT 'Ankomst ',p$arrive
    PRINT 'Avgang ',p$depart
    PRINT '_____ '
    PRINT
    PRINT 'Losseslutt ',p$end
    PRINT '_____ '
    PRINT
    PRINT 'Tid holdt igjen ',p$diff
    PRINT '===== '
    PRINT
    PRINT
    PRINT
Slutt TERMINATE
check IF p$diff>=50,wspor9 ! (Loc: -23,+3)
    GOTO waitk,1
ankwai IF spor9=NF,ankwa1 ! (Loc: -35,+1)
    GOTO raiwai,1
ankwa1 ENTER spor9,1 ! Hensettingsspor (Loc: -1,+2)
    LEAVE spor8,1 ! Avgangsspor
    ENTER arbR,2,Q ! Arbeidere RailCombi
    ENTER lokom,1,Q ! Skiftelokomotiv
    ENTER kron,1,Q ! Kronstadsporet
    ADVANCE 10.125+1.78*fn$snorm ! Skiftetid
    LEAVE kron,1 ! Kronstadsporet
    LEAVE lokom,1 ! Skiftelokomotiv
    LEAVE arbR,2 ! Arbeidere RailCombi
    WAITIF rail=F
    ENTER rail,1,Q ! RailCombi lastespor
    GRAPH cl,s$rail
    LEAVE spor9,1 ! Hensettingsspor
    GOTO RailC,1
wspor9 ENTER Spor9,1,Q ! Hensettingsspor (Loc: +15,+2)
    LEAVE kort,1 ! Kort spor RailCombi
    GRAPH cl,s$kort
    LEAVE rail,1 ! RailCombi lastespor
    GRAPH cl,s$rail
    ENTER arbR,2,Q ! Arbeidere RailCombi
    ENTER lokom,1,Q ! Skiftelokomotiv
    ENTER kron,1,Q ! Kronstadsporet
    ADVANCE 10.125+1.78*fn$snorm ! Skiftetid
    LEAVE kron,1 ! Kronstadspor

```

---

```

LEAVE lokom,1      ! Skiftelokomotiv
LEAVE arbR,2       ! Arbeidere RailCombi
ADVANCE fn$f10(p$diff-(10.125+1.78*fn$snorm)) ! Holder igjen tog
LET+ x$last,s(p$last)
PRINT 'last',s(p$last)
ENTER p$last,r(p$last),Q ! Fyller opp togene ved avgang
LEAVE spor9,1     ! Hensettingsspor
GOTO print,1
lostR IF lostbR=E,bastR ! (Loc: -3,+5)
LEAVE lostbR,1    ! Reduserer lastebil henting RailCombi
IF reachR=NF,relor
ENTER truckR,1,Q ! Truck RailCombi
ENTER arbR,1,Q   ! Arbeider RailCombi
ADVANCE 0.89*fn$rIn5 ! Håndteringstid
LEAVE p$loss,1   ! Losser av tog
LET+ x$loss,1
LEAVE arbR,1     ! Arbeider RailCombi
LEAVE truckR,1  ! Truck RailCombi
TERMINATE
relor ENTER reachR,1,Q ! Reach RailCombi (Loc: -7,+1)
ENTER arbR,1,Q   ! Arbeider RailCombi
ADVANCE 1.44*fn$rIn4 ! Håndteringstid
LEAVE p$loss,1   ! Losser av tog
LET+ x$loss,1
LEAVE arbR,1     ! Arbeider RailCombi
LEAVE reachR,1   ! Reach RailCombi
TERMINATE
bastR IF reachR=NF,relor ! (Loc: -8,+1)
ENTER truckR,1,Q ! Truck RailCombi
ENTER arbR,1,Q   ! Arbeider RailCombi
ADVANCE fn$f10(1.06+0.39*fn$snorm) ! Håndteringstid
LEAVE p$loss,1   ! Losser av tog
ENTER RCLOST,1,Q ! Øker standard-depot loss RailCombi
GRAPH cl,s$RCLOST
LET+ x$loss,1
LEAVE arbR,1     ! Arbeider RailCombi
LEAVE truckR,1  ! Truck RailCombi
TERMINATE
relorB ENTER reachR,1,Q ! Reach RailCombi (Loc: -6,+1)
ENTER arbR,1,Q   ! Arbeider RailCombi
ADVANCE fn$f10(1.68+0.60*fn$snorm) ! Håndteringstid
LEAVE p$loss,1   ! Losser av tog
ENTER RCLOST,1,Q ! Øker standard-depot loss RailCombi
GRAPH cl,s$RCLOST
LET+ x$loss,1
LEAVE arbR,1     ! Arbeider RailCombi
LEAVE reachR,1   ! Reach RailCombi
TERMINATE
loseR IF losebR=E,baseR ! (Loc: -18,-6)
LEAVE losebR,1   ! Reduserer lastebil henting RailCombi
ENTER reachR,1,Q ! Reach RailCombi
ENTER arbR,1,Q   ! Arbeider RailCombi
ADVANCE 2.08*fn$rIn5 ! Håndteringstid
LEAVE p$loss,2   ! Losser av tog
LET+ x$loss,2

```

---

```

        LEAVE arbR,1      ! Arbeider RailCombi
        LEAVE reachR,1    ! Reach RailCombi
        TERMINATE
baseR ENTER reachR,1,Q  ! Reach RailCombi (Loc: -7,+1)
      ENTER arbR,1,Q    ! Arbeider RailCombi
      ADVANCE 2.08*fn$rlng5  ! Håndteringstid
      LEAVE p$loss,2    ! Losser av tog
      LET+ x$loss,2
      ENTER RCLOSE,1,Q  ! Øker semi-depot loss RailCombi
      GRAPH cl,s$RCLOSE
      LEAVE arbR,1      ! Arbeider RailCombi
      LEAVE reachR,1    ! Reach RailCombi
      TERMINATE
lang1 ENTER lang,1,Q    ! Lang spor RailCombi (Loc: -29,+8)
      GRAPH cl,s$lang
      LEAVE p$last,s(p$last)  ! Tømmer togene ved ankomst
      ENTER p$loss,p$std,Q    ! Angir standardcontainere i TEU
      ENTER p$loss,p$semi*2,Q ! Angir semicontainere i TEU
      SPLIT p$std,bilstR  ! Signal lastebil henting RailCombi
      SPLIT p$semi,bilseR ! Signal lastebil henting RailCombi
      SPLIT p$std,lostR   ! Start lossing standard RailCombi
      SPLIT p$semi,loseR  ! Start lossing semi RailCombi
      WAITIF p$loss=NE    ! Venter til lossing er ferdig
      LET p$end=cl ! Beregner håndteringsstart
      LET p$diff=p$depart-p$end
      IF Spor9=NF,check1
waitl ADVANCE fn$f10(p$diff)  ! Holder igjen tog til avgangstidspunkt
      LET+ x$last,s(p$last)
      PRINT 'last',s(p$last)
      ENTER p$last,r(p$last),Q ! Fyller opp togene ved avgang
      LEAVE lang,1 ! Langt spor RailCombi
      GRAPH cl,s$lang
      GOTO dep
check1 IF p$diff>=300,wasp9! (Loc: -5,+2)
      GOTO waitl,1
wasp9 ENTER spor9,1,Q    ! Hensettingsspor
      LEAVE lang,1 ! Langt spor RailCombi
      GRAPH cl,s$lang
      LEAVE rail,1 ! Lastespor RailCombi
      GRAPH cl,s$rail
      ENTER arbR,2,Q    ! Arbeidere RailCombi
      ENTER lokom,1,Q   ! Skiftelokomotiv
      ENTER kron,1,Q    ! Kronstadsporet
      ADVANCE 10.125+1.78*fn$snorm ! Skiftetid
      LEAVE kron,1 ! Kronstadsporet
      LEAVE lokom,1     ! Skiftelokomotiv
      LEAVE arbR,2     ! Arbeidere RailCombi
      ADVANCE fn$f10(p$diff-(10.125+1.78*fn$snorm))
      LET+ x$last,s(p$last)
      PRINT 'last',s(p$last)
      ENTER p$last,r(p$last),Q ! Fyller opp toget
      LEAVE spor9,1    ! Hensettingsspor
      GOTO print,1
GCargo WAITIF green=F    ! (Loc: -36,+3)
      ENTER green,1,Q   ! Lastespor Green Cargo

```



---

```

GRAPH cl,s$green
LEAVE spor8,1      ! Ankomstspor
ENTER arbR,2,Q     ! Arbeidere RailCombi
ENTER lokom,1,Q    ! Skiftelokomotiv
ENTER kron,1,Q     ! Kronstadsporet
ADVANCE 10.125+1.78*fn$snorm ! Skiftetid
LEAVE kron,1 ! Kronstadsporet
LEAVE lokom,1     ! Skiftelokomotiv
LEAVE arbR,2      ! Arbeidere RailCombi
LEAVE p$last,s(p$last) ! Tømmer togene ved ankomst
ENTER p$loss,p$std,Q ! Angir standardcontainere i TEU
ENTER p$loss,p$semi*2,Q ! Angir semicontainere i TEU
SPLIT p$std,bilstG ! Signal lastebil henting Green Cargo
SPLIT p$semi,bilseG ! Signal lastebil henting Green Cargo
SPLIT p$std,lostG ! Start lossing standard Green Cargo
SPLIT p$semi,loseG ! Start lossing semi Green Cargo
WAITIF p$loss=NE ! Venter til lossing er ferdig
LET p$end=cl ! Angir håndteringsstart
LET p$diff=p$depart-p$end
ADVANCE fn$f10(p$diff) ! Holder igjen tog til avgangstidspunkt
LET+ x$last,s(p$last)
PRINT 'last',s(p$last)
ENTER p$last,r(p$last),Q ! Fyller opp togene ved avgang
LEAVE green,1 ! Lastespor Green Cargo
GRAPH cl,s$green
GOTO depG,1
lostG IF lostbG=E,bastG ! (Loc: -7,+3)
LEAVE lostbG,1 ! Reduserer lastebil henting Green Cargo
IF reachG=NF,relOG
ENTER truckG,1,Q ! Truck Green Cargo
ENTER arbG,1,Q ! Arbeider Green Cargo
ADVANCE 0.89*fn$rInG5 ! Håndteringstid
LEAVE p$loss,1 ! Losser
LEAVE arbG,1 ! Arbeider Green Cargo
LEAVE truckG,1 ! Truck Green Cargo
LET+ x$loss,1
TERMINATE
relOG ENTER reachG,1,Q ! Reach Green Cargo (Loc: -5,+1)
ENTER arbG,1,Q ! Arbeider Green Cargo
ADVANCE 1.44*fn$rInG4 ! Håndteringstid
LEAVE p$loss,1 ! Losser
LET+ x$loss,1
LEAVE arbG,1 ! Arbeider Green Cargo
LEAVE reachG,1 ! Reach Green Cargo
TERMINATE
bastG IF reachG=NF,relOG! Reach Green Cargo (Loc: -11,+2)
ENTER truckG,1,Q ! Truck Green Cargo
ENTER arbG,1,Q ! Arbeider Green Cargo
ADVANCE fn$f10(1.06+0.39*fn$snorm) ! Håndteringstid
LEAVE p$loss,1 ! Losser
ENTER GCLOST,1,Q ! Øker standard-depot loss Green Cargo
GRAPH cl,s$GCLOST
LET+ x$loss,1
LEAVE arbG,1 ! Arbeider Green Cargo
LEAVE truckG,1 ! Truck Green Cargo

```

---

```

TERMINATE
relobG ENTER reachG,1,Q ! Reach Green Cargo (Loc: -6,+1)
ENTER arbG,1,Q ! Arbeider Green Cargo
ADVANCE fn$f10(1.68+0.6*fn$snorm) ! Håndteringstid
LEAVE p$loss,1 ! Losser
ENTER GCLOST,1,Q ! Øker standard-depot loss Green Cargo
GRAPH cl,s$GCLOST
LET+ x$loss,1
LEAVE arbG,1 ! Arbeider Green Cargo
LEAVE reachG,1 ! Reach Green Cargo
TERMINATE
loseG IF losebG=E,baseG ! (Loc: -13,+1)
LEAVE losebG,1 ! Reduserer lastebil henting Green Cargo
ENTER reachG,1,Q ! Reach Green Cargo
ENTER arbG,1,Q ! Arbeider Green Cargo
ADVANCE 2.08*fn$rlng5 ! Håndteringstid
LEAVE p$loss,2 ! Losser
LET+ x$loss,2
LEAVE arbG,1 ! Arbeider Green Cargo
LEAVE reachG,1 ! Reach Green Cargo
TERMINATE
baseG ENTER reachG,1,Q ! Reach Green Cargo (Loc: -6,+1)
ENTER arbG,1,Q ! Arbeider Green Cargo
ADVANCE 2.08*fn$rlng5 ! Håndteringstid
LEAVE p$loss,2 ! Losser
ENTER GCLOSE,1,Q ! Øker semi-depot loss Green Cargo
GRAPH cl,s$GCLOSE
LET+ x$loss,2
LEAVE arbG,1 ! Arbeider Green Cargo
LEAVE reachG,1 ! Reach Green Cargo
TERMINATE
bilstR ADVANCE fn$rlng1*fn$snloss ! Henting (Loc: -71,+1)
ADVANCE fn$le0(rn1-fn$problo)*rn1*fn$exsnlo
ENTER lostbR,1,Q ! Teller lastebiler henting RailCombi
LET+ x$lobil,1
GRAPH cl,x$lobil
TERMINATE
bilseR ADVANCE fn$rlng1*fn$snloss ! henting (Loc: -29,+2)
ADVANCE fn$le0(rn1-fn$problo)*rn1*fn$exsnlo
ENTER losebR,1,Q ! Teller lastebiler henting RailCombi
LET+ x$lobil,1
GRAPH cl,x$lobil
TERMINATE
bilseG ADVANCE fn$rlng1*fn$snloss ! Henting (Loc: -6,+4)
ADVANCE fn$le0(rn1-fn$problo)*rn1*fn$exsnlo
ENTER losebG,1,Q ! Teller lastebiler henting Green Cargo
LET+ x$lobil,1
GRAPH cl,x$lobil
TERMINATE
bilstG ADVANCE fn$rlng1*fn$snloss ! Henting (Loc: -7,-2)
ADVANCE fn$le0(rn1-fn$problo)*rn1*fn$exsnlo
ENTER lostbG,1,Q ! Teller lastebiler henting Green Cargo
LET+ x$lobil,1
GRAPH cl,x$lobil
TERMINATE

```

---

```

full  GENERATE ,,16,1 ! Fyller opp togene ved start
      LET+ x$nummer,1 ! Lar tognummer øke med 1
      LET p$tognr=x$nummer
      LET p$last=fn$numcnv+16
      ENTER p$last,r(p$last),Q ! Fyller opp togene ved start
      TERMINATE

Last  GENERATE (v$lever1+v$lever2+v$lever3+v$lever4)*fn$rlng1,,,430
      LET+ x$labil,1
      GRAPH cl,x$labil
      LET p$type=fn$prob ! Avgjør containertype
      GOTO lastG,0.34 ! Green Cargo container med 34% sannsynlighet
lastR  ENTER labilR,1,Q ! Øker lastebil levering RailCombi
      LET P$last=MIN,S,21,32 ! Velger beste tog
      IF p$last=F,bakkeR ! Gå til bakke hvis p$last er full
      IF p$type=2,laseR
      ENTER p$last,1,Q ! Laster
      LET+ x$lastR,1
      LET+ x$laR1,1
      IF reachR=NF,relaR
      ENTER truckR,1,Q ! Truck RailCombi
      ENTER arbR,1,Q ! Arbeider RailCombi
      ADVANCE 0.89*fn$rlng5 ! Håndteringstid
      LEAVE arbR,1 ! Arbeider RailCombi
      LEAVE truckR,1 ! Truck RailCombi
      LEAVE labilR,1 ! Reduserer lastebil levering RailCombi
      TERMINATE
relaR  ENTER reachR,1,Q ! Reach RailCombi (Loc: -6,+1)
      ENTER arbR,1,Q ! Arbeider RailCombi
      ADVANCE 1.44*fn$rlng4 ! Håndteringstid
      LEAVE arbR,1 ! Arbeider RailCombi
      LEAVE reachR,1 ! Reach RailCombi
      LEAVE labilR,1 ! Reduserer lastebil levering RailCombi
      TERMINATE
laseR  ENTER p$last,2,Q ! Laster (Loc: -9,+1)
      LET+ x$lastR,2
      LET+ x$laR2,1
      ENTER reachR,1,Q ! Reach RailCombi
      ENTER arbR,1,Q ! Arbeider RailCombi
      ADVANCE 2.08*fn$rlng5 ! Håndteringstid
      LEAVE arbR,1 ! Arbeider RailCombi
      LEAVE reachR,1 ! Reach RailCombi
      LEAVE labilR,1 ! Reduserer lastebil levering RailCombi
      TERMINATE
bakkeR  IF p$type=2,bselaR ! (Loc: -9,+2)
      ENTER RCLAST,1,Q ! Øker standard-depot last RailCombi
      IF reachR=NF,relaR
      ENTER truckR,1,Q ! Truck RailCombi
      ENTER arbR,1,Q ! Arbeider RailCombi
      ADVANCE 0.97*fn$rlng5 ! Håndteringstid
      LEAVE truckR,1 ! Truck RailCombi
      LEAVE arbR,1 ! Arbeider RailCombi
      LEAVE labilR,1 ! Reduserer lastebil levering RailCombi
      TERMINATE

```

---

```
relabR ENTER reachR,1,Q ! Reach RailCombi (Loc: -6,+1)
      ENTER arbR,1,Q ! Arbeider RailCombi
      ADVANCE 1.13*fn$rlng4 ! Håndteringstid
      LEAVE reachR,1 ! Reach RailCombi
      LEAVE arbR,1 ! Arbeider RailCombi
      LEAVE labiR,1 ! Reduserer lastebil levering RailCombi
      TERMINATE
bselaR ENTER RCLASE,1,Q ! Øker semi-depot last RailCombi (Loc: -8,+1)
      LEAVE labiR,1 ! Reduserer lastebil levering RailCombi
      TERMINATE
lastG ENTER labiG,1,Q ! Øker lastebil levering Green Cargo (Loc: -4,+2)
      LET p$last=MIN,S,17,20 ! Velger beste tog
      IF p$last=F,bakkeG ! Gå til bakke dersom p$last er full
      IF p$type=2,laseG
      ENTER p$last,1,Q ! laster
      LET+ x$lastG,1
      LET+ x$laG1,1
      IF reachG=NF,relaG
      ENTER truckG,1,Q ! Truck Green Cargo
      ENTER arbG,1 ! Arbeider Green Cargo
      ADVANCE 0.89*fn$rlng5 ! Håndteringstid
      LEAVE arbG,1 ! Arbeider Green Cargo
      LEAVE truckG,1 ! Truck Green Cargo
      LEAVE labiG,1 ! Reduserer lastebil levering Green Cargo
      TERMINATE
relaG ENTER reachG,1,Q ! Reach Green Cargo (Loc: -6,+1)
      ENTER arbG,1 ! Arbeider Green Cargo
      ADVANCE 1.44*fn$rlng4 ! Håndteringstid
      LEAVE arbG,1 ! Arbeider Green Cargo
      LEAVE reachG,1 ! Reach Green Cargo
      LEAVE labiG,1 ! Reduserer lastebil levering Green Cargo
      TERMINATE
laseG ENTER p$last,2,Q ! laster (Loc: -8,+1)
      LET+ x$lastG,2
      LET+ x$laG2,1
      ENTER reachG,1,Q ! Reach Green Cargo
      ENTER arbG,1 ! Arbeider Green Cargo
      ADVANCE 2.08*fn$rlng5 ! Håndteringstid
      LEAVE arbG,1 ! Arbeider Green Cargo
      LEAVE reachG ! Reach Green Cargo
      LEAVE labiG,1 ! Reduserer lastebil levering Green Cargo
      TERMINATE
bakkeG IF p$type=2,bselaG ! (Loc: -9,+1)
      ENTER GCLAST,1,Q ! Øker standard-depot last Green Cargo
      IF reachG=NF,relabG
      ENTER truckG,1,Q ! Truck Green Cargo
      ENTER arbG,1,Q ! Arbeider Green Cargo
      ADVANCE 0.97*fn$rlng5 ! Håndteringstid
      LEAVE truckG,1 ! Truck Green Cargo
      LEAVE arbG,1 ! Arbeider Green Cargo
      LEAVE labiG,1 ! Reduserer lastebil levering Green Cargo
      TERMINATE
relabG ENTER reachG,1,Q ! Reach Green Cargo (Loc: -6,+1)
      ENTER arbG,1,Q ! Arbeider Green Cargo
      ADVANCE 1.13*fn$rlng4 ! Håndteringstid
```

---

```

LEAVE reachG,1    ! Reach Green Cargo
LEAVE arbG,1      ! Arbeider Green Cargo
LEAVE labilG,1    ! Reduserer lastebil levering Green Cargo
TERMINATE
bselaGENTER GCLASE,1,Q! Øker semi-depot last Green Cargo (Loc: -7,+1)
LEAVE labilG,1    ! Reduserer lastebil levering Green Cargo
TERMINATE

RLASTD    GENERATE 1! Lastedepot standardcontainere Railcombi
IF RCLAST=E,termi1 ! Sjekk om containere i depot
LET P$last=MIN,S,21,32    ! Velger beste tog
IF p$last=F,termi1    ! Sjekk om ledig på tog
ENTER p$last,1,Q    ! Laster
LEAVE RCLAST,1    ! Reduserer standard-depot last RailCombi
LET+ x$lastR,1
LET+ x$aR1,1
IF reachR=NF,reladR
ENTER truckR,1,Q    ! Truck RailCombi
ENTER arbR,1,Q    ! Arbeider RailCombi
ADVANCE fn$f10(1.06+0.39*fn$snorm)    ! Håndteringstid
LEAVE arbR,1    ! Arbeider RailCombi
LEAVE truckR,1    ! Truck RailCombi
TERMINATE
reladR ENTER reachR,1,Q    ! Reach RailCombi (Loc: -5,+1)
ENTER arbR,1,Q    ! Arbeider RailCombi
ADVANCE fn$f10(1.68+0.60*fn$snorm)    ! Håndteringstid
LEAVE arbR,1    ! Arbeider RailCombi
LEAVE reachR,1    ! Reach RailCombi
TERMINATE
termi1 TERMINATE    ! (Loc: -9,+0)

RLASED    GENERATE 1! Lastedepot semicontainere Railcombi
IF RCLASE=E,termi2 ! Sjekk om containere i depot
LET P$last=MIN,S,21,32    ! Velger beste tog
IF p$last=F,termi2    ! Sjekk om ledig på tog
ENTER p$last,2,Q    ! Laster
LEAVE RCLASE,1    ! Reduserer semi-depot last RailCombi
LET+ x$lastR,2
LET+ x$aR2,1
ENTER reachR,1,Q    ! Reach RailCombi
ENTER arbR,1,Q    ! Arbeider RailCombi
ADVANCE 2.08*fn$rlng5    ! Håndteringstid
LEAVE arbR,1    ! Arbeider RailCombi
LEAVE reachR,1    ! Reach RailCombi
TERMINATE
termi2 TERMINATE    ! (Loc: -8,+1)

GLASTD    GENERATE 1! Lastedepot standardcontainere Green Cargo
IF GCLAST=E,termi3 ! Sjekk om containere i depot
LET P$last=MIN,S,17,20    ! Velger beste tog
IF p$last=F,termi3    ! Sjekk om tog er fullt
ENTER p$last,1,Q    ! Laster
LEAVE GCLAST,1    ! Reduserer standard-depot last Green Cargo
LET+ x$lastG,1
LET+ x$aG1,1

```

---

```

IF reachG=NF,reladG
ENTER truckG,1,Q ! Truck Green Cargo
ENTER arbG,1 ! Arbeider Green Cargo
ADVANCE fn$f10(1.06+0.39*fn$snorm) ! Håndteringstid
LEAVE arbG,1 ! Arbeider Green Cargo
LEAVE truckG,1 ! Truck Green Cargo
TERMINATE
reladG ENTER reachG,1,Q ! Reach Green Cargo (Loc: -5,+1)
ENTER arbG,1 ! Arbeider Green Cargo
ADVANCE fn$f10(1.68+0.60*fn$snorm) ! Håndteringstid
LEAVE arbG,1 ! Arbeider Green Cargo
LEAVE reachG,1 ! Reach Green Cargo
TERMINATE
termi3 TERMINATE ! (Loc: -9,+0)

GLASED GENERATE 1! Lastedepot semicontainere Green Cargo
IF GCLASE=E,termi4! Sjekk om containere i depot
LET P$last=MIN,S,17,20 ! Velger beste tog
IF p$last=F,termi4 ! Sjekk om tog er fullt
ENTER p$last,2,Q ! Laster
LEAVE GCLASE,1 ! Reduserer semi-depot Green Cargo
LET+ x$lastG,2
LET+ x$laG2,1
ENTER reachG,1,Q ! Reach Green Cargo
ENTER arbG,1 ! Arbeider Green Cargo
ADVANCE 2.08*fn$rlng5 ! Håndteringstid
LEAVE arbG,1 ! Arbeider Green Cargo
LEAVE reachG ! Reach Green Cargo
TERMINATE
termi4 TERMINATE ! (Loc: -8,+1)

RLOSTD GENERATE 1! Lossedepot standardcontainere RailCombi
IF lostbR=E,term1 ! Sjekk om ledig lastebil (Loc: +1,-4)
IF RCLOST=E,term1 ! Sjekk om container i depot
LEAVE lostbR,1 ! Reduserer lastebil henting RailCombi
LEAVE RCLOST,1 ! Reduserer standard-depot loss Railcombi
GRAPH cl,s$RCLOST
IF reachR=NF,relodR
ENTER truckR,1,Q ! Truck RailCombi
ENTER arbR,1 ! Arbeider RailCombi
ADVANCE 0.97*fn$rlng5 ! Håndteringstid
LEAVE arbR,1 ! Arbeider RailCombi
LEAVE truckR,1 ! Truck RailCombi
TERMINATE
term1 TERMINATE ! (Loc: -9,+1)
relodR ENTER reachR,1 ! Reach RailCombi (Loc: +4,+0)
ENTER arbR,1 ! Arbeider RailCombi
ADVANCE 1.13*fn$rlng4 ! Håndteringstid
LEAVE arbR,1 ! Arbeider RailCombi
LEAVE reachR,1 ! Reach RailCombi
TERMINATE

RLOSED GENERATE 1! Lossedepot semicontainere RailCombi
IF losebR=E,term2 ! Sjekk om ledig lastebil
IF RCLOSE=E,term2 ! Sjekk om containere i depot

```

---

```

    LEAVE losebR,1    ! Reduserer lastebil henting RailCombi
    LEAVE RCLOSE,1    ! Reduserer semi-depot loss RailCombi
    GRAPH cl,s$RCLOSE
    TERMINATE
term2 TERMINATE ! (Loc: -3,+1)

GLOSTD    GENERATE 1! Lossedepot standardcontainere Green Cargo
    IF lostbG=E,term4 ! Sjekk om ledig lastebil
    IF GCLOSE=E,term4 ! Sjekk om containere i depot
    LEAVE lostbG,1    ! Reduserer lastebil henting Green Cargo
    LEAVE GCLOSE,1    ! Reduserer standard-depot loss Green Cargo
    GRAPH cl,s$GCLOSE
    IF reachG=NF,relodG
    ENTER truckG,1,Q  ! Truck Green Cargo
    ENTER arbG,1      ! Arbeider Green Cargo
    ADVANCE 0.97*fn$rlng5 ! Håndteringstid
    LEAVE arbG,1      ! Arbeider Green Cargo
    LEAVE truckG,1    ! Truck Green Cargo
    TERMINATE
relodG ENTER reachG,1,Q ! Reach Green Cargo (Loc: -5,+1)
    ENTER arbG,1      ! Arbeider Green Cargo
    ADVANCE 1.13*fn$rlng4 ! Håndteringstid
    LEAVE arbG,1      ! Arbeider Green Cargo
    LEAVE reachG,1    ! Reach Green Cargo
    TERMINATE
term4 TERMINATE ! (Loc: -9,+0)

GLOSED    GENERATE 1! Lossedepot semicontainere Green Cargo
    IF losebG=E,term3 ! Sjekk om ledig lastebil
    IF GCLOSE=E,term3 ! Sjekk om container i depot
    LEAVE losebG,1    ! Reduserer lastebil henting Green Cargo
    LEAVE GCLOSE,1    ! Reduserer semi-depot loss Green Cargo
    GRAPH cl,s$GCLOSE
    TERMINATE
term3 TERMINATE ! (Loc: -3,+1)

    GENERATE 1320,,1 ! Åpningstid RailCombi 00-22
    ENTER reachR,2,Q  ! Stopper reachstackere
    ENTER truckR,1,Q  ! Stopper truck
    ENTER lokom,1,Q   ! Stopper skiftelokomotiv
    ENTER arbR,4,Q    ! Stopper arbeidere
    ADVANCE 120       ! Pause
    LEAVE arbR,4      ! Starter arbeidere
    LEAVE lokom,1     ! Starter skiftelokomotiv
    LEAVE truckR,1    ! Starter truck
    LEAVE reachR,2    ! Starter reachstackere
    TERMINATE

    GENERATE 2760,,1 ! Pause railcombi
    ENTER reachR,2,Q  ! Stopper reachstacker
    ENTER truckR,1,Q  ! Stopper truck
    ENTER lokom,1,Q   ! Stopper skiftelokomotiv
    ENTER arbR,4,Q    ! Stopper arbeidere
    ADVANCE 120       ! Pause

```

---

```
LEAVE arbR,4      ! Starter arbeidere
LEAVE lokom,1     ! Starter skiftelokomotiv
LEAVE truckR,1    ! Starter truck
LEAVE reachR,2    ! Starter reachstacker
TERMINATE

GENERATE 0,,1     ! Åpningstid Green Cargo 01-18
ENTER reachG,1,Q  ! Stopper reachstacker
ENTER truckG,1,Q  ! stopper truck
ENTER arbG,2,Q    ! stopper arbeidere
ADVANCE 60 ! Pause
LEAVE arbG,2      ! Starter arbeidere
LEAVE truckG,1    ! Starter truck
LEAVE reachG,1    ! Starter reachstacker
TERMINATE

GENERATE 1080,,1 ! Pause Green Cargo
ENTER reachG,1,Q ! Stopper reachstacker
ENTER truckG,1,Q ! Stopper truck
ENTER arbG,2,Q   ! Stopper arbeidere
ADVANCE 420      ! Pause
LEAVE arbG,2     ! Starter arbeidere
LEAVE truckG,1   ! Starter truck
LEAVE reachG,1   ! Starter reachstacker
TERMINATE

GENERATE 2520,,1 ! Pause Green Cargo
ENTER reachG,1,Q ! Stopper reachstacker
ENTER truckG,1,Q ! Stopper truck
ENTER arbG,2,Q   ! Stopper arbeidere
ADVANCE 360      ! Pause
LEAVE arbG,2     ! Starter arbeidere
LEAVE truckG,1   ! Starter truck
LEAVE reachG,1   ! Starter reachstacker
TERMINATE

GENERATE 2880,,1
PRINT
PRINT
PRINT 'Totalt losset',x$loss
PRINT 'Totalt lastet',x$last
PRINT '
TERMINATE 1
```

---

```
START 1
END
```