



Driftseffektivitet

Delrapport 15 Driftseffektivitet konseptanalysen
Beregning av gjennomsnittlige driftskostnader i ulike
utbyggingsalternativer for Alnabruterminalen

Dokumentnummer:	201700055 - 39
Versjon: 4.0	29.10.18
Utarbeidet av:	Jon-Kristian Hovland
Godkjent av:	Arild Vold <i>Arild Vold 29/10-18</i>

Forord

I 2008-2009 ble det gjennomført en utredning om utvikling av Alnabruterminalen, der en stor fire-trinns utbygging av terminalen ble anbefalt. Umiddelbart etter utredningen var ferdig, startet arbeidet med en hovedplan for det første byggetrinnet – Byggetrinn 1. Denne ble ferdigstilt i 2011. Både hovedplan og utredningen ble deretter underlagt ekstern kvalitetssikring, der forventet kostnad for Byggetrinn 1 ble anslått til 13,6 mrd. 2010-kroner.

Effekt målet i utredningen og hovedplanen innebar at terminalen skulle håndtere 1 mill. TEU per år (ca. dobling av dagens volumer) innen 2020 og 1,5 millioner TEU per år innen 2040. Iht. den eksterne kvalitetssikringsrapporten var prognoser for fremtidig vekst ambisiøse og kunne utelukke mer samfunnsøkonomisk lønnsomme alternativer. Regjeringen vedtok ikke å gå videre med prosessen, og daværende Jernbaneverket (JBV) fikk 11. november 2012 i oppdrag fra Samferdselsdepartementet (SD) om på ny å utrede en videre utvikling av Alnabruterminalen.

I oppdragsbrevet fra Samferdselsdepartementet til Jernbaneverket fra november 2012 er det bestilt en utredning for både kortsiktige og langsiktige tiltak for Alnabruterminalen, herunder tiltak for å sikre både driftsstabilitet i terminalen og å legge opp til en økning av kapasiteten i tråd med etterspørselen. Utredningsarbeidet ble organisert i to faser:

Fase 1 – utredning av **strakstiltak** for å bedre driftsstabiliteten- og effektiviteten i terminalen. Fase 1 - utredningen ble gjennomført av Jernbaneverket i 2014, og ga en prioritert liste med strakstiltak. Strakstiltakene planlegges gjennomført fra 2015 til og med årsskiftet 2019/2020.

Fase 2 – utredning av **framtidig konsept** for utviklingen av terminalen, herunder utbyggingsløsninger som legger til rette for en mer trinnvis kapasitetsøkning som er mer i takt med etterspørselen.

Fase 2-oppdraget startet opp i 2015 og besvares i denne utredningen.

Denne delrapporten om driftseffektivitet i konseptanalysen inngår sammen med flere delrapporter og hovedrapport i Jernbanedirektoratets (JDIR) utredning om «Videre utvikling av Alnabruterminalen, Fase 2».

Fase 2-oppdraget ble startet opp som et prosjekt i Jernbaneverket. Etter at Jernbaneverket ble nedlagt 1. januar 2017 ble prosjektet videreført i Jernbanedirektoratet. Der relevant benyttes fortsatt begrepet Jernbaneverket (JBV), der en omtaler tiltak og status i perioden til og med desember 2016.

Delrapporter i Alnabru fase 2¹

R00 Hovedrapport Alnabru fase 2
R01 Status og dagens situasjon
R02 Interessentanalyse
R03 Oppsummering verksted 1
R04 Behovsanalyse
R05 Mål og krav
R06 Oppsummering verksted 2
R07 Driftskonsept konseptanalysen
R08 Mulighetsrom og siling
R09 Kostnadsestimat konseptanalysen
R10 Usikkerhetsanalyse konseptanalysen
R12 Kapasitetsanalyse konseptanalysen
R13 Konseptanalyse
R14 Arealbehov
R15 Driftseffektivitet konseptanalysen

¹ R11 Samfunnsøkonomisk analyse inngikk opprinnelig i prosjektet, men analysen utføres som en del av KVVU Godsterminalstruktur i Oslofjordområdet.

Innhold

1 Innledning	7
2 Analyse av konseptenes driftseffektivitet	8
2.1 Felles forutsetninger for konseptene (inkl. referanse)	8
2.2 Andel direkte løft	11
2.3 Referanse 0+.....	13
2.4 Felles forutsetninger for de alternative konseptene	16
2.5 Konsept 3.7	16
2.6 Konsept 3.7 implementering.....	20
2.7 Konsept 4.8.3.....	23
2.8 Konsept 4.8.3 implementeringskonsept	27
2.9 Oppsummert vurdering.....	30
3 Følsomhetsanalyser	32
3.1 Automatiserte kraner	32
3.2 Brukerkostnader ved statlig eierskap av utstyr.....	32
4 Bruk av omlastingskostnader i NGM	33
5 Modellbeskrivelse	35
5.1 Utstyrskostnader (U)	36
5.2 Tog- og klargjøringskostnader (T).....	38
5.3 Skiftekostnader (S)	39
5.4 Lastebilkostnader (L)	40
5.5 Administrasjonskostnader (A)	40
6 Forutsatte parameterverdier	41
7 Andre betraktninger	43
7.1 Sammenheng mellom gjennomsnittskostnad og kapasitetsutnyttelse.....	43
8 Referanser	44

Sammendrag

Sammenliknet med referansealternativet (0+ pga. kort gjenværende levetid i dagens Alnabru) er det lite som skiller tre av utbyggingskonseptene med tanke på driftseffektivitet. Ut fra beregningene oppnås 6-7 prosent forbedring i konseptene 3.7, implementering 3.7 og 4.8.3 relativt til referanse 0+ mot 2040 og en ytterligere forbedring til totalt 8-11% i 2060. Her er det imidlertid forskjeller i hvilken kostnadsgruppe som får størst gevinst. Det er konseptet 3.7 som gir størst tidsbesparelser, men noe av effekten utliknes av kapitalintensivt løfteutstyr. Implementeringskonsept 4.8.3 gir minst besparelse.

Store deler av effektiviseringsgevinsten er basert på ganske grove forutsetninger som er gjort om ytelse i referansealternativet og om mulig forbedring i de alternative konseptene. Det bør ses nærmere på hvor realistisk det er å oppnå den forbedringen som er lagt til grunn for mobilt løfteutstyr og lastebilkjøring på terminalområdet. Samtidig kan en grundigere analyse av mer konkrete driftskonsepter for de ulike alternativene avdekke andre effektiviseringsmuligheter.

Kostnader per TEU, 2040	konsept 3.7	imp 3.7	konsept 4.8.3	imp 4.8.3
Jernbane	-4 %	-1 %	-2 %	-1 %
Terminal	1 %	-8 %	-5 %	1 %
Vei	-11 %	-11 %	-10 %	-2 %
Faste kostnader	-25 %	-25 %	-20 %	-21 %
Sum	-6 %	-7 %	-6 %	-2 %

1 Innledning

En potensiell nyttevirkning av å bygge ut og modernisere Alnabru ligger i å redusere kostnadene forbundet med terminalhåndteringen av godset. Reduserte terminalkostnader kan oppnås ved å effektivisere prosessene som foregår på terminalen, dvs. forbedre driftseffektiviteten.

Hva som inngår i terminalkostnader kan defineres på mange ulike vis. Det er derfor viktig å være klar over hvilke definisjoner som gjelder i ulike sammenhenger. I Alnabruprosjektet må vi sikre at terminalkostnader behandles konsistent.

I dette notatet spesifiserer vi en modell som beregner prosentvis reduksjon i terminalkostnadene. Den beregnede prosentvise reduksjonen kan brukes konsistent for evaluering og rangering mellom gjenværende konsepter i Alnabru Fase II og som input for anbefalt konsept til KVV Godsterminalstruktur i Oslofjordområdet. Endring i driftseffektivitet beregnes som differansen mellom beregnede driftskostnader i utbyggingsalternativ relativt til referansekostnaden. Vi gjør også et anslag på forbedring i referansealternativet relativt til dagens situasjon.

Vi tar utgangspunkt i å modellere enhetskostnader slik de anvendes i den nasjonale godstransportmodellen (NGM). Beregningene som benyttes i rapporten er basert på SITMAs kalkulasjonsmodell for terminalkostnader, men det er gjort tilpasninger slik at den egner seg til analyse av konseptene i Alnabruprosjektet. Beregningene for Alnabruprosjektet behandler bl.a. utstyr til løft som eksogent gitt, i og med at bruk av ulikt type løfteutstyr er gitt av de ulike terminalkonseptene.

Flere av kostnadskomponentene vil i liten grad avhenge av hva slags terminalkonsept som velges for Alnabru. Dersom det senere viser seg at vi ønsker en annen definisjon av terminalkostnader for prosjektets kriterium for evaluering av forbedring av driftseffektivitet, er det viktig at vi omtaler hvordan de avviker fra de opprinnelige definisjonene.

Input til beregningene er i stor grad hentet fra kapasitetsanalysene i Alnabruprosjektet. Det er ikke gitt at dette er det beste utgangspunktet for å gjøre en effektivitetsanalyse, men det sikrer en form for konsistens mellom det som legges til grunn i kapasitetsanalysen og analysen av driftseffektivitet. Det har også visse utfordringer, blant annet er mengden mobilt løfteutstyr gitt av totalt antall spormeter i modulene for mobilt løfteutstyr i de ulike konseptene. En operasjonsanalyse av mer konkrete driftskonsepter vil kunne gi mer nyanserte resultater.

I kapittel 2 vises forutsetninger og resultater fra analysen av de ulike konseptene. Kapittel 3 inneholder vurderinger av hvordan resultatene endres ved endring av sentrale forutsetninger. I kapittel 4 er det beskrevet hvordan resultater fra beregning av driftseffektivitet kan brukes som input i den nasjonale godstransportmodellen. Selve modellen som benyttes i beregningene av terminalkostnadene er forklart i kapittel 5. Kapittel 6 viser forutsetningene som legges til grunn for beregning av driftseffektivitet - uavhengig av konsept, og kapittel 7 gir noen betraktninger om forhold som kan forbedres.

2 Analyse av konseptenes driftseffektivitet

I dette kapitlet analyseres driftseffektivitet i de gjenværende konseptene i Alnabru godsterminal i fase 2. Resultater brukes for å vurdere hvordan de ulike konseptene kan påvirke ulike aktørers driftskostnader i forbindelse med operasjoner på Alnabru godsterminal.

2.1 Felles forutsetninger for konseptene (inkl. referanse)

I samsvar med prosjektforutsetningene (delrapport R13.2), er det forutsatt en endring i sammensetningen i lastbærerenehetene i perioden mot 2040 og mot 2060. De forutsatte fordelingene i 2040 og 2060 er oppgitt i Tabell 1. Endringen er forventet å skje uavhengig av valg av konsept på Alnabru.

Endringen innebærer en reduksjon i andelen vekselflak og en økning i andelen semihengere og containere sammenliknet med dagens situasjon. Dette innebærer en økning i gjennomsnittlig volum per lastbærerenehet. Isolert sett fører dette til en reduksjon i behov for antall løft for å betjene det samme volumet, og reduksjon i antall biler som leverer godset. På den andre siden kan det øke behovet for utstyr som kan toppløfte enhetene.

Tabell 1 Lastbærerfordeling i 2040 og 2060². Andel av totalt volum (TEU) på Alnabru godsterminal. Prosent

Lastbærer	2040	2060
Vekselflak	45 %	20 %
Semihenger	30 %	35 %
Container 20 fot	3 %	11 %
Container 40-45 fot	22 %	34 %

Forutsetningene for jernbanedriften som er felles for konseptene er oppgitt i Tabell 2.

Gjennomsnittlig tog lengde er i 2040 fordelt ved at 30 prosent er 460 meter lange, 40 prosent er 600 meter lange og 30 prosent er 740 meter lange. I 2060 er det 70 prosent 600 m lange tog og 30 prosent 740 m lange tog.

² R13.2 Forutsetninger for konseptutvikling og analyse, side 4

Tabell 2 Felles forutsetninger for jernbane i konseptene

	2040	2060
Gjennomsnittlig tog lengde (meter) ³	600	642
Utnyttelse godsvogner ⁴	85 %	85 %
Venting lokomotiv (minutter) ⁵	60	60
Mottaks-/avgangsprosedyre (minutter) ⁶	45	45
Total oppholdstid vognstamme (minutter) ⁷	471	471

Det antas at oppholdstiden på terminalen er bestemt av ruteopplegg (som igjen bestemmes av hva som er etterspurt) og ikke påvirkes av hva som skjer internt på terminalen. Det vil si at en endring av gjennomsnittlig tid i lastespor til lasting eller lossing i et konsept resulterer i en tilsvarende endring i øvrig tidsbruk slik at total oppholdstid er uendret. Øvrig tidsbruk i terminalen kan være tid i hensetting eller avsatt tid til snørydding etc.

Tidsbruk til skiftebevegelser varierer fra konsept til konsept avhengig av behov for deling av vognstammer. Felles for konseptene er likevel en syklus som er beregnet tidsbruk fra ankomst til terminalen til avgang (uten deling). Antakelser om tidsbruk for ulike operasjoner er vist i Tabell 3, og summen totalt er 52,5 minutter. Siden vi i modellen for terminaleffektivitet legger til grunn tidsbruk per ankomst/avgang, deler vi dette tallet på to som et gjennomsnitt per ankomst/avgang. Det er altså minimum 26,25 minutter per ankomst/avgang som legges til grunn for alle konseptene.

³ R13.2 Forutsetninger for konseptutvikling og analyse, side 5

⁴ R13.2 Forutsetninger for konseptutvikling og analyse, side 5

⁵ Antakelse i SITMAs kalkulasjonsmodell for terminalkostnader. «Dødtid» for lokomotiv per ankomst/avgang.

⁶ Fra delrapport R12 *Kapasitetsanalyse om prosess på terminalen*. 0,5 timer ved ankomst og 1 time ved avgang. Gj.snitt 45 minutter per ankomst/avgang

⁷ Fra delrapport R12 *Kapasitetsanalyse om oppholdstid på terminalen*. Gj.snitt oppholdstid på terminalen er 15,7 timer. Deler dette i to for å få gjennomsnittstid per ankomst/avgang

Tabell 3 Tidsbruk skifting normalt (dvs. uten deling av togstammen)

Operasjon	minutter
Ankomst	3
<u>Lossing</u>	
Skiftelok til vognstamme i RH-spor	3
til lastespor før lossing	3
skiftelok retur	1,5
skiftelok til vognstamme i lastespor	1,5
fra lastespor etter lossing til RH-spor	3
<u>Lasting</u>	
Skiftelok til vognstamme i RH-spor	3
til lastespor før lasting	3
skiftelok retur	1,5
skiftelok til vognstamme i lastespor	1,5
fra lastespor til A etter lasting	3
Skiftelok bort	3
Strekningslok inn	5,5
<u>Vogner med feil</u>	
50 % av tog bytter ut 1 vogn med feil	10
<u>Vognlastvogner</u>	
50 % av tog skifter inn 1 vogn	4
<u>Avgang</u>	3
Sum	52,5

For deling og skjøting av vognstammer er det lagt til grunn 50 % belegg og 50 % sannsynlighet for å vente. Venter da ca. $1/2$ belegg = $1/2 * 2,5$ minutt = 1,3 minutt. Multipliseres med andel av stammer som må deles, og antall deloperasjoner per type operasjon som innebærer skjøting eller deling. Gjennomsnittlig tidsbruk i sum til deling/skjøting er ca 30 minutter inkl. venting.

Antall løft per time for løfteutstyret ved full utnyttelse vises i Tabell 4. Disse tallene brukes til å beregne gjennomsnittlig tidsbruk per løft ved å ta 60 minutter delt på anslaget for antall løft per time. Dvs. at en kran bruker i gjennomsnitt 2 minutter per løft ved full utnyttelse ($60/30=2$).

Ytelsen til det mobile løfteutstyret varierer med konseptene og er avhengig av trengsel i lastegate. Dette vil virke inn på gjennomsnittlig tidsbruk per løft i de ulike konseptene.

Tabell 4 Antall løft per time

Løfteutstyr	antall løft per time
Kran	30
Reachstacker	25
Gaffeltruck	38

Lastebilenes tidsbruk på terminalområdet har vi dessverre dårlig grunnlag for å analysere. Det antas at lastebilene i gjennomsnitt bruker 3 minutter på kjøring til/fra omlastingssted inne på terminalens område når det ikke er trengsel. Det er *ikke* gjort analyse av gjennomsnittlig kjørelengde e.l. i de ulike konseptene. Vi vet at dette trolig varierer, men det har ikke blitt prioritert i dette arbeidet. Imidlertid varierer antakelse om trengsel i lastegatene i de ulike konseptene og lastebilenes tidsbruk til kjøring inne på terminalområdet kan derfor også variere i de ulike konseptene avhengig av bredde på lastegate.

Tilsvarende som for lastebil antas det at terminaltraktorer bruker i gjennomsnitt 3 minutter per operasjon (forflytning av semitrailer mellom lastegate og eksternlager eller mellom hoved-/biadkomst og lastegate) dersom det ikke er trengsel. Vi har ingen god dokumentasjon på faktisk tidsbruk i forbindelse med disse operasjonene.

Vi har dessverre dårlig grunnlag for å si noe om de faste kostnadene, men gjør noen antakelser som er oppgitt i Tabell 5. Det antas at det er 10 faste årsverk i tilknytning til administrasjon og ledelse i terminalsekskapene, TXP, gatekontroll, og administrasjon og ledelse hos terminaleier. Antakelsen om at disse kostnadene er faste innebærer at de faste kostnadene holdes uendret til tross for betydelige økninger i volum i enkelte av konseptene. Antakelsen impliserer en sterk stordriftsfordel i terminaldriften.

I tillegg til de faste kostnadene, kommer arbeidskraft knyttet til lastebilsjåførere, lokomotivførere, skiftøkonduktører og terminalarbeidere (betjening av løfteutstyr og mannskap i avgangs/ankomstprosedyrer). Disse størrelsene er variabler i modellen.

Tabell 5 Felles forutsetning om faste kostnader

Husleie (kr/år) ⁸	500 000
Antall faste årsverk	10

2.2 Andel direkte løft

Andelen av enhetene som blir levert/hentet direkte til/fra kunde bestemmes i modellen utelukkende av tiden toget står til lasting eller lossing i lastespor. Det bestemmes en fordeling for lasteenhetenes oppholdstid i terminalen, og forventningsverdiene oppgis i Tabell 6.

⁸ Antakelse i SITMAs kalkulasjonsmodell

Tabell 6 Lasteenhetenes forventede oppholdstid i terminalen (MCA-analyse, s. 111, table 77, ETC, september 2016)

Semi	7,0
Vekselflak	5,0
Container	12,3

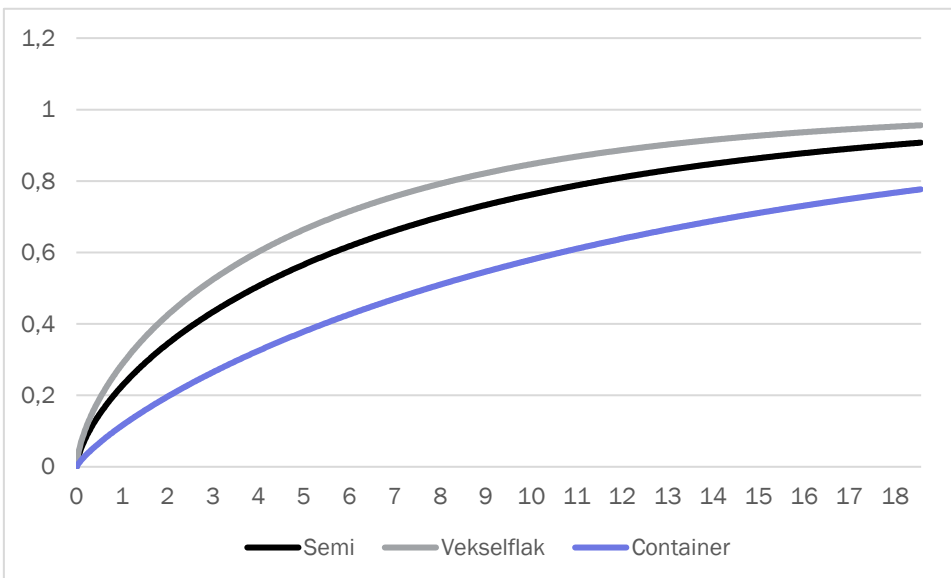
Det antas at enhetenes oppholdstid i terminalen er gammafordelt, og vi antar noe om formen på fordelingen. Helt konkret antar vi at shape-parameteren (alpha) tilpasses slik at vi når andelene direkte løft brukt i MCA-analyse (ETC, 2016). Skalaparameteren til fordelingen (beta) tilpasses slik at forventningen til fordelingen tilsvarer forventningene i Tabell 6.

Tabell 7 Parametere til gamma-fordelingene for lasteenhetenes oppholdstid

Lastbærer	Alpha	beta
Semi	0,66	10,7
Vekselflak	0,63	7,9
Container	0,81	15,3

Figur 1 viser den kumulative fordelingen over lasteenhetenes oppholdstid i terminalen. For alle konseptene antar vi at de enhetene som har lavere oppholdstid enn tiden til lasting eller lossing omlastes direkte mellom tog og kunde. Andelen direkte løft er da representert ved den kumulative fordelingsfunksjonen, F , ved tid til lasting eller lossing. Dersom det er x timer til lasting eller lossing, er andelen direkte løft gitt ved $F(x, \alpha, \beta)$.

Figur 1 Kumulativ fordeling over lasteenhetenes oppholdstid i terminalen



2.3 Referanse 0+

Det antas at maks volum i Referanse 0+ er 600 000 TEU i 2040 og 650 000 TEU i 2060. Dette er i samsvar med anslått kapasitet for dette alternativet⁹. Dette gir omtrent 33 prosent høyere volum enn dagens (omtrent 450 000 TEU) i 2040 og omtrent 44 prosent høyere enn dagens volum i 2060.

Gjennomsnittlig tid til skiftebevegelser, inkl. ankomst/avgang, deling og skjøting, per ankomst/avgang er beregnet i *R12 Kapasitetsanalyse*. Som omtalt i kapittel 2.1 legger vi til grunn minimum 26,5 minutter i tid til skiftebevegelser per ankomst/avgang. I Referanse 0+ er det i tillegg et stort behov for deling av vognstammer pga. korte spor.

Tabell 8 Behov for deling av vognstammer i Referanse 0+

	Andel delt i lastespor virkedag	Andel delt i R-spor virkedag
Ref. 0+ 2040, 600 000 TEU	42 %	26 %
Ref. 0+ 2060, 650 000 TEU	46 %	53 %

Basert på andelene i Tabell 8, er gjennomsnittlig tidsbruk per syklus for deling og skjøting beregnet til 13,4 minutter i Referanse 0+ i 2040. I tillegg er det beregnet 2,6 minutter i forsinkelse per avgang pga. høy unyttelsesgrad. I sum blir dette 68,5 minutter per syklus, og som gjennomsnitt per avgang/ankomst blir det 34,3 minutter i 2040.

I 2060 er det tilsvarende beregnet i gjennomsnitt 18,2 minutter per gjennomsnittssyklus for deling og skjøting av vognstammer. Gjennomsnittlig tid til skiftebevegelser i 2060 er dermed beregnet til 36,6 minutter per ankomst/avgang.

Tabell 9 viser forutsetningene som gjøres for omlastningsenheten i Referanse 0+.

I Referanse 0+ omlastes 24 prosent av volumet i kranmodulen og 76 prosent av volumet omlastes i spor for mobilt løfteutstyr. Dette er hentet fra beregningene som er gjort i analyse om omlastingskapasitet.

Det er 2 kraner, 6 reachstackere, 9 gaffeltrucker og 5 terminaltraktorer i Referanse 0+. Dette er dokumentert i *Løfteutstyr Notat*¹⁰. I analysen av omlastingskapasitet er det antatt at én reachstacker og én gaffeltruck er i reserve ved beregning av løftekapasitet. Reservemateriellet er inkludert i beregning av driftseffektivitet, fordi det er kostnader forbundet med å ha utstyr i reserve.

I analyse av omlastingskapasitet, er det beregnet at optimal tid til lastning eller lossing er 2,5 timer for kran og 1,3 timer for mobilt løfteutstyr i 2040. Med de antatte sannsynlighetsfordelingene for oppholdstiden til lasteenhetene, resulterer dette i at 48 prosent av vekselflakene omlastes direkte, 39 prosent av semihengerne og 23 prosent av containerne i kranmodulen. Med mobilt løfteutstyr er det 33 prosent av vekselflakene, 27 prosent av semihengerne og 14 prosent av containerne som får direkte omlasting. Resten av enhetene må i depot. Dette er høyere andeler direkteløft enn i dagens

⁹ Analysene av veikapasitet viser at planovergangene fra ankomstområde og inn på ACN begrenser kapasitet i referansealternativet til omtrent 600 000 TEU i 2040 og 650 000 TEU i 2060.

¹⁰ Kilde er presentasjon fra Vidar Flydal i Bane NOR

situasjon, som følge av forutsetninger vi har lagt til grunn om bedre styring som følge av innføring av TOS.

I 2060 er de optimale oppholdstidene i henholdsvis kran- og mobile lastespor 2,3 timer og 1,2 timer. Dette fører til at andelen direkteløft reduseres noe i 2060 sammenliknet med 2040.

10 prosent av enhetene som lander i depot må i tillegg flyttes en ekstra gang fordi de står «i veien» for andre enheter (antakelse også brukt av COWI/ETC¹¹). Dette er nok en relativt liten andel sammenliknet med dagens situasjon, men det antas at behovet blir mindre som følge av innføring av TOS på terminalene.

Ytelsen til kran i referanse 0+ antas å være 100 prosent (forutsettes fornyelse av kranene), mens ytelsen til det mobile løfteutstyret antas å være 75 prosent pga. trengsel i trange lastegater¹². Det er få oppstillingsplasser (129) for semihengere i lastegatene, og det antas derfor at en relativt stor andel av semihengerne som ikke leveres direkte til kunde må flyttes til eksternlager med terminaltraktor.

Terminaltraktorens er antatt å ha kun 75 prosent av ytelsen ved optimale uhindrede arbeidsforhold, med tilsvarende begrunnelse som for det mobile løfteutstyret.

Tabell 9 Terminalforutsetninger i referanse 0+

Terminal	Referanse 0+, 2040	Referanse 0+, 2060
Driftsforutsetninger		
Fordeling kran	24 %	24 %
Fordeling mobil	76 %	76 %
Antall kraner	2	2
Antall reachstackere	6	6
Antall gaffeltrucker	9	9
Antall terminaltraktorer	5	5
Tidsbruk kran		
Tid i lastespor til lasting eller lossing (timer)	2,5	2,3
Andel direkte vekselflak	48 %	46 %
Andel direkte semihenger	39 %	37 %
Andel direkte container 20 fot	23 %	22 %
Andel direkte container 40 fot	23 %	22 %
Andel i depot som får et tredje løft	10 %	10 %
Antall løft per time (full utnyttelse)	30	30
Ytelse	100 %	100 %
Tidsbruk per løft (minutter)	2,0	2,0

¹¹ ETC (Februar 2018) ALNABRU – REPORT ON CAPACITY FOR CONCEPT 3.7, 3.6 AND THE REFERENCE ALTERNATIVE v.3.1, Cowi, 7.02.2018

¹² Forutsetning i R12 Kapasitetsanalyse

Driftsforutsetninger mobilt løfteutstyr		
Tid i lastespor til lastning eller lossing (minutter)	1,3	1,2
Andel direkte vekselflak	33 %	32 %
Andel direkte semihenger	27 %	25 %
Andel direkte container 20 fot	14 %	13 %
Andel direkte container 40 fot	14 %	13 %
Andel i depot som får et tredje løft	10 %	10 %
Tidsbruk reachstacker		
Antall løft per time (full utnyttelse)	25	25
Ytelse	75 %	75 %
Tidsbruk per løft (minutter)	3,2	3,2
Tidsbruk gaffeltruck		
Antall løft per time (full utnyttelse)	38	38
Ytelse	75 %	75 %
Tidsbruk per løft (minutter)	2,1	2,1
Tidsbruk terminaltraktor		
Andel semitrailere som må flyttes til/fra eksternt lager	51 %	52 %
Tidsbruk per forflytning av semitrailer u/ trengsel (min)	3,0	3,0
Ytelse	75 %	75 %
Tidsbruk per forflytning av semitrailer (min)	4,0	4,0

Tabell 10 viser forutsatt tidsbruk til lastebilene i referanse 0+. Det er antatt at ytelsen er 75 prosent pga. trengsel i de trange lastegatene også for lastebilenes tidsbruk. I tillegg er det antatt at det er 13 minutter i øvrig tidsbruk på terminalen. Dette er i forbindelse med kontroll, venting og tid til lastning eller lossing. Til sammen gir dette en forutsatt tidsbruk per levering/henting med lastebil på gjennomsnittlig 17 minutter. Vi vurderer dette som gjennomsnittlig tid fra ankomst ved terminalens grense til ferdig lossing, og motsatt fra lastning til bilen har forlatt terminalområdet.

Tabell 10 Forutsetninger vei i referanse 0+

Vei	Referanse 0+
Tidsbruk lastebil	
Kjøring inne på terminalområde u/ trengsel (minutter)	3,0
Ytelse	75 %
Kjøring inne på terminalområde (minutter)	4,0
Øvrig tidsbruk (minutter)	13
Sum tid per lastebil (minutter)	17,0

Inneholdt i tiden bilene bruker på terminalen er venting og ev. kø ved planovergang. Dette er beregnet med antakelse om at bilene ankommer planovergangen med en uniform fordeling over timen. Det er fire planoverganger i referanse 0+, og det tas utgangspunkt i antall stenginger i en gjennomsnittstime. Basert på behov for togbevegelser over planovergangene med bommene nede, har vi beregnet at det i referanse 0+ er venting på planovergang på gjennomsnittlig 0,88 minutter per bil ved levering eller henting.

Referansealternativet er ikke sammenlignbart med Dagens situasjon, da referansealternativet blant annet inkluderer innføring av TOS-system og strakstiltak. Det er ikke beregnet kostnader per TEU i dagens situasjon i dette prosjektet, grunnet manglende informasjon. Reduksjon av driftskostnader som følge av tiltak i referansealternativet er dermed kun grovt anslått til ca. 10 prosent.

2.4 Felles forutsetninger for de alternative konseptene

I referansealternativet er det antatt at 10 prosent av lastenhetene i depot får et ekstra løft (antakelse også brukt av COWI/ETC). I de alternative konseptene er det antatt at dette behovet reduseres med økt antall plasser til containere i depot, med følgende uttrykk:

$$\text{andel med tredje løft i depot} = 10\% * \left(\frac{\text{AntallPlasser}_{\text{referanse}}}{\text{AntallPlasser}_{\text{altKonsept}}} \right)^2$$

Behovet for forflytning av semitrailere antas også å ha en sammenheng med antall oppstillingsplasser for semitrailere i depot. Det er antatt at andelen semihengere som flyttes mellom eksternt lager og lastemodul er gitt ved:

$$1 - \frac{\text{AntallSemiPlasser}_{\text{altKonsept}}}{\text{AntallPlasser}_{\text{konsept3.7}}}$$

Dette gjelder kun den andelen av semihengerne som ikke leveres direkte til kunde. Dersom det ikke er noen oppstillingsplasser til semihengere i lastegate, vil altså alle som ikke leveres direkte flyttes til eksternt lager, og dersom det er like mange oppstillingsplasser som i konsept 3.7 forflyttes ingen mellom lastegate og eksternt lager.

2.5 Konsept 3.7

Effektmålene for kapasitet nås i konsept 3.7 både i 2040 og 2060. Det legges derfor til grunn 800 000 TEU i 2040 og 1 100 000 TEU i 2060, som tilsvarer etterspørselsprognosen uten kapasitetsbegrensninger.

I konsept 3.7 er det ikke behov for deling av vognstammer pga. korte lastespor. Ekstra tidsbruk til slik deling elimineres derfor. I tillegg er det mindre gjennomsnittlig forsinkelse ved avgang pga. lavere utnyttelsesgrad.

	Andel delt i lastespor virkedag	Andel delt i R virkedag
3.7 2040, 800 000 TEU	0 %	0 %
3.7 2060, 1 100 000 TEU	0 %	0 %

Dette gir konsept 3.7 en beregnet reduksjon i tid til skiftebevegelser på 7,3 minutter i gjennomsnitt per ankomst/avgang sammenliknet med referanse 0+ i 2040. I 2060 er tilsvarende besparelse beregnet til 9,6 minutter. Effektivitetsgevinsten antas å være representert gjennom å frigjøre arbeid og kapital (lokomotiv) til andre operasjoner.

Det er forutsatt at vognstammen i konsept 3.7 har en betydelig lengre oppholdstid i lastespor enn i referanse. Dette øker sannsynligheten for å oppnå direkte omlasting mellom lastebil og tog, noe som vises i vurderingene av effektiviteten til løfteutstyret. Som nevnt tidligere er det en forutsetning at total oppholdstid for vognstammen i terminalen er gitt av andre forhold, og at lengre oppholdstid i lastespor motsvares av reduksjon i øvrig tid.

Oppsummert viser Tabell 11 disse virkningene.

Tabell 11 Tidsbruk jernbane i konsept 3.7, 2040

Tidsbruk	Referanse 0+	konsept 3.7	Endring (absolutt)	Endring (relativ)
Skifting (minutter)	34	27	-7,3	-21 %
Tid i lastespor til lasting eller lossing (minutter)	95	220	124,6	131 %
Øvrig tid vognstamme (minutter)	296	179	-117,4	-40 %

I konsept 3.7 er løft gjort nesten utelukkende med portalkran. Tabell 12 viser videre at det forutsettes et mye mindre behov for mobilt løfteutstyr enn i referanse. Det antas at det er behov for én reachstacker og én gaffeltruck for betjening med mobilt løfteutstyr/reserve. I analysen av omlastingskapasitet er det beregnet at 95 prosent av volumet betjenes med kran.

Andelen direkte løft øker betraktelig pga. lengre avsatt tid til lasting eller lossing i lastespor, noe som innebærer en effektivitetsforbedring fordi det resulterer i færre løft per enhet. Det er brukt 3,8 timer til lasting eller lossing i kranmodul og 1,1 timer til mobilt løfteutstyr. Med antakelsene som er lagt til grunn her, blir omtrent 50 prosent av enhetene løftet direkte mellom tog og kunde.

På grunn av flere plasser i depot, antas det også at sannsynligheten for at enheter må flyttes reduseres. Det er lagt til grunn 317 depotplasser i referanse og 481 depotplasser i konsept 3.7. Med uttrykket for behov for ekstraløft i kapittel 2.4, finner vi da at behovet i 3.7 reduseres med 57 prosent sammenliknet med referanse 0+.

I konsept 3.7 er det tilstrekkelig med oppstillingsplasser for semitrailere i depot, og vi antar at behovet for forflytning av semitrailere mellom depot og eksternt lager blir borte. Det vil likevel være behov for minst én terminaltraktor for forflytning av semitrailere mellom lastemoduler i tilfelle omlasting tog-tog.

Vi antar at ytelsen til det mobile løfteutstyret blir 100 prosent i konseptet, men dette har lite betydning for analysen iom. at nesten alt volum betjenes med kran.

Tabell 12 Terminalforutsetninger konsept 3.7, 2040

Terminal	Referanse 0+	konsept 3.7	Endring (absolutt)	Endring (relativ)
Driftsforutsetninger				
Fordeling kran	24 %	95 %	71 %	296 %
Fordeling mobil	76 %	5 %	-71 %	-93 %
Antall kraner	2	10	8	400 %
Antall reachstackere	6	1	-5	-83 %
Antall gaffeltrucker	9	1	-8	-89 %
Antall terminaltraktorer	5	1	-4	-80 %
Tidsbruk kran				
Tid i lastespor til lasting eller lossing (timer)	2,5	3,8	1,3	52 %
Andel direkte vekselflak	48 %	59 %	11 %	23 %
Andel direkte semihenger	39 %	49 %	10 %	26 %
Andel direkte container 20 fot	23 %	31 %	8 %	35 %
Andel direkte container 40 fot	23 %	31 %	8 %	35 %

Andel i depot som får et tredje løft	10 %	4 %	-6 %	-57 %
Antall løft per time (full utnyttelse)	30	30	0	0 %
Ytelse	100 %	100 %	0 %	0 %
Tidsbruk per løft (minutter)	2,0	2,0	0,0	0 %
Driftsforutsetninger mobilt løfteutstyr				
Tid i lastespor til lasting eller lossing (minutter)	1,3	1,1	-0,2	-15 %
Andel direkte vekselflak	33 %	30 %	-3 %	-9 %
Andel direkte semihenger	27 %	24 %	-3 %	-10 %
Andel direkte container 20 fot	14 %	12 %	-2 %	-12 %
Andel direkte container 40 fot	14 %	12 %	-2 %	-12 %
Andel i depot som får et tredje løft	10 %	4 %	-6 %	-57 %
Tidsbruk reachstacker				
Antall løft per time (full utnyttelse)	25	25	0	0 %
Ytelse	75 %	100 %	25 %	33 %
Tidsbruk per løft (minutter)	3,2	2,4	-0,8	-25 %
Tidsbruk gaffeltruck				
Antall løft per time (full utnyttelse)	38	38	0	0 %
Ytelse	75 %	100 %	25 %	33 %
Tidsbruk per løft (minutter)	2,1	1,6	-0,5	-25 %
Tidsbruk terminaltraktor				
Andel semitrailere som må flyttes til/fra eksternlager	51 %	0 %	-51 %	-100 %
Tidsbruk per forflytning av semitrailer u/ trengsel (min)	3,0	3,0	0	0 %
Ytelse	75 %	100 %	25 %	33 %
Tidsbruk per forflytning av semitrailer (min)	4,0	3,0	-1,00	-25 %

Det er antatt at effektiviteten til lastebilenes kjøring inne på terminalområdet øker tilsvarende som for det mobile løfteutstyret i de fullt utbygde konseptene. Dette kan begrunnes både med mindre konflikt mellom biler og mobilt løfteutstyr, men i tillegg har veisystemet bedre kapasitet i konsept 3.7 enn i referanse. Dette antar vi gir en reduksjon i gjennomsnittlig kjøretid på 25 prosent. I tillegg er det beregnet 0,9 minutter mindre venting og forsinkelse ved planovergang, siden planovergangen saneres i dette konseptet.

Tabell 13 Forutsetninger vei i konsept 3.7

Vei	Referanse 0+	konsept 3.7	Endring (absolutt)	Endring (relativ)
Tidsbruk lastebil				
Kjøring inne på terminalområde u/ trengsel (minutter)	3,0	3,0	0,0	0 %
Ytelse	75 %	100 %	25 %	33 %

Kjøring inne på terminalområde (minutter)	4,0	3,0	-1,0	-25 %
Øvrig tidsbruk (minutter)	13	12,1	-0,9	-7 %
Sum tid per lastebil (minutter)	17,0	15,6	-1,4	-8 %

Tidsbesparelsene verdsettes så med satsene som omtales i kapittel 6 og endring i kostnadene beregnes med modellen som er beskrevet i kapittel 5. I sum viser beregningene at konsept 3.7 gir 6 prosent besparelse i de gjennomsnittlige omlastingskostnadene i 2040.

Tabell 14 Gjennomsnittskostnader i konsept 3.7 relativt til referanse 0+ i 2040

Kostnader per TEU	Referanse 0+	konsept 3.7	Endring (absolutt)	Endring (relativ)
Jernbane	173	166	-7	-4 %
Terminal	81	82	1	1 %
Vei	140	125	-16	-11 %
Faste kostnader	13	10	-3	-25 %
Sum	408	383	-25	-6 %

Besparelsene per TEU er større i 2060, i all hovedsak på grunn av stordriftsfordeler ved at samme mengde utstyr utnyttes med et vesentlig høyere volum.

Tabell 15 Gjennomsnittskostnader i konsept 3.7 relativt til referanse 0+ i 2060

Kostnader per TEU	Referanse 0+	konsept 3.7	Endring (absolutt)	Endring (relativ)
Jernbane	169	160	-9	-5 %
Terminal	78	65	-13	-17 %
Vei	133	118	-15	-11 %
Faste kostnader	12	7	-5	-41 %
Sum	392	350	-42	-11 %

2.6 Konsept 3.7 implementering

Effekt målet på 800 000 TEU i 2040 nås med implementeringskonseptet 3.7, og dette volumet legges til grunn i 2040. I 2060 legges det til grunn et volum på 1 062 000 TEU, i samsvar med kapasitetsberegningene.

I implementeringskonseptet for 3.7 er det fremdeles behov for deling av noen tog. Tabellen nedenfor viser de andelen som er lagt til grunn i dette konseptet.

	Andel delt i lastespor virkedag	Andel delt i R virkedag
3.7 impl. 2040, 800 000 TEU	44 %	0 %
3.7 impl. 2060, 1 062 000 TEU	55 %	0 %

Det er mindre behov for deling av tog enn i referanse 0+ og dette innebærer en tidsbesparelse på 3,6 minutter i gjennomsnitt per syklus i 2040. Effekten av redusert avgangsforsinkelse pga. utnyttelsesgrad er også her 1,1 minutter.

Til sammen gir dette en virkning på 2,3 minutter per ankomst/avgang i 2040, som slår ut i mindre ressursbruk. I 2060 er tilsvarende besparelse beregnet til 3,5 minutter relativt til referanse 0+.

Det er avsatt lengre tid til lasting eller lossing i dette konseptet, og tilhørende mindre tid i hensetting.

Tabell 16 Forutsetninger tidsbruk jernbane i implemteringskonsept 3.7, 2040

Tidsbruk	Referanse 0+	imp 3.7	Endring (absolutt)	Endring (relativ)
Skifting (minutter)	34	32	-2,33	-7 %
Tid i lastespor til lasting eller lossing (minutter)	95	137	42	44 %
Øvrig tid vognstamme (minutter)	296	257	-39	-13 %

Implementeringskonseptet for 3.7 har sammenliknet med referanse økt bruk av kran og mindre bruk av mobilt løfteutstyr. I analyse av omlastingskapasitet er det beregnet at 60 prosent av volumet er betjent med kran, og 40 prosent med mobilt løfteutstyr.

I analyse av omlastingskapasitet finner vi at det er 6 kraner og 7,4 enheter med mobilt løfteutstyr. I denne analysen er dette rundet opp til nærmeste heltall og det er lagt til to enheter i reserve for en konsistent sammenlikning med referansealternativet. Vi har da antatt 10 enheter med mobilt løfteutstyr, fordelt på 4 reachstackere og 6 gaffeltrucker.

Det er antatt at behovet for terminaltraktorer reduseres med 2 fra referanse 0+ pga. mindre behov for flytting mellom lastemodul og eksternlager. Dette gir omtrent samme gjennomsnittlige utnyttelse av terminaltraktorene i implementeringskonseptet som i referanse 0+.

Tid i lastespor til lasting eller lossing øker betraktelig sammenliknet med referanse 0+. Det er valgt optimal tid for lossing eller lasting fra analyse av omlastingskapasitet. Den økte tiden til lasting eller lossing resulterer i flere direkte løft.

Behov for «ekstraløft» i depot reduseres med omtrent 46 prosent sammenliknet med referanse ved bruk av formelen i kapittel 2.4. Det er da lagt til grunn 432 plasser i depot i implementeringskonseptet og 317 plasser i referanse 0+.

Det er antatt at behovet for forflytning av semihengere mellom depot og eksternlager har sammenheng med antall oppstillingsplasser for semihengere i depot. Det er oppgitt 198 oppstillingsplasser for semihengere i depot, mot 468 plasser i fullt utbygd 3.7. I tillegg er det en del flere direkte levering/henting mellom kunde og tog i konseptet pga. lengre tid til lasting eller lossing sammenliknet med referanse 0+. Til sammen gir dette et redusert behov for forflytning til eksternlager på 28 prosent per semihenger sammenliknet med referanse 0+.

Ytelsen til det mobile løfteutstyret i konseptet settes til 100 prosent fordi problemet med trengsel i lastegatene antas å elimineres pga. bredere lastegater enn i referanse 0+. Dette gir mindre tidsbruk per løft for det mobile løfteutstyret.

Tabell 17 Forutsetninger terminal implementering 3.7, 2040

Terminal	Referanse 0+	imp 3.7	Endring (absolutt)	Endring (relativ)
Driftsforutsetninger				
Fordeling kran	24 %	60 %	36 %	150 %
Fordeling mobil	76 %	40 %	-36 %	-47 %

Antall kraner	2	6	4	200 %
Antall reachstackere	6	4	-2	-33 %
Antall gaffeltrucker	9	6	-3	-33 %
Antall terminaltraktorer	5	3	-2	-40 %
Tidsbruk kran				
Tid i lastespor til lasting eller lossing (timer)	2,5	3,0	0,5	20 %
Andel direkte vekselflak	48 %	52 %	5 %	10 %
Andel direkte semihenger	39 %	43 %	4 %	11 %
Andel direkte container 20 fot	23 %	27 %	3 %	14 %
Andel direkte container 40 fot	23 %	27 %	3 %	14 %
Andel i depot som får et tredje løft	10 %	5 %	-5 %	-46 %
Antall løft per time (full utnyttelse)	30	30	0	0 %
Ytelse	100 %	100 %	0 %	0 %
Tidsbruk per løft (minutter)	2,0	2,0	0,0	0 %
Driftsforutsetninger mobilt løfteutstyr				
Tid i lastespor til lasting eller lossing (minutter)	1,3	1,2	-0,1	-8 %
Andel direkte vekselflak	33 %	32 %	-1 %	-4 %
Andel direkte semihenger	27 %	25 %	-1 %	-5 %
Andel direkte container 20 fot	14 %	13 %	-1 %	-6 %
Andel direkte container 40 fot	14 %	13 %	-1 %	-6 %
Andel i depot som får et tredje løft	10 %	5 %	-5 %	-46 %
Tidsbruk reachstacker				
Antall løft per time (full utnyttelse)	25	25	0	0 %
Ytelse	75 %	100 %	25 %	33 %
Tidsbruk per løft (minutter)	3,2	2,4	-0,8	-25 %
Tidsbruk gaffeltruck				
Antall løft per time (full utnyttelse)	38	38	0	0 %
Ytelse	75 %	100 %	25 %	33 %
Tidsbruk per løft (minutter)	2,1	1,6	-0,5	-25 %
Tidsbruk terminaltraktor				
Andel semitrailere som må flyttes til/fra eksternlager	51 %	37 %	-14 %	-28 %
Tidsbruk per forflytning av semitrailer u/ trengsel (min)	3,0	3,0	0	0 %
Ytelse	75 %	100 %	25 %	33 %
Tidsbruk per forflytning av semitrailer (min)	4,0	3,0	-1,00	-25 %

På samme vis som for det mobile løfteutstyret antas en ytelse på 100 % for lastebilenes kjøring inne på terminalområdet. Dette impliserer en reduksjon i gjennomsnittlig kjøretid på terminalen på 25 prosent. I implementeringskonsept 3.7 er det kun én planovergang, med om lag 10 prosent av bilene gjennom. Det er beregnet at dette gir en besparelse på 0,82 minutter sammenliknet med referanse 0+ per bil.

Tabell 18 Forutsetninger vei implementering 3.7

Vei	Referanse 0+	konsept 3.7	Endring (absolutt)	Endring (relativ)
Tidsbruk lastebil				
Kjøring inne på terminalområde u/ trengsel (minutter)	3,0	3,0	0,0	0 %
Ytelse	75 %	100 %	25 %	33 %
Kjøring inne på terminalområde (minutter)	4,0	3,0	-1,0	-25 %
Øvrig tidsbruk (minutter)	13	12	-0,8	-6 %
Sum tid per lastebil (minutter)	17,0	15,6	-1,4	-11 %

Tidsbesparelsene verdsettes så med satsene som omtales i kapittel 6 og endring i kostnadene beregnes med modellen som er beskrevet i kapittel 5. Implementeringskonseptet for 3.7 gir om lag 7 prosent besparelse i de gjennomsnittlige kostnadene per TEU.

Tabell 19 Gjennomsnittskostnader i konsept implementering 3.7 relativt til referanse 0+, 2040

Kostnader per TEU	Referanse 0+	imp 3.7	Endring (absolutt)	Endring (relativ)
Jernbane	173	171	-2	-1 %
Terminal	81	75	-6	-8 %
Vei	140	125	-15	-11 %
Faste kostnader	13	10	-3	-25 %
Sum	408	381	-27	-7 %

I 2060 er besparelsene noe større, i all hovedsak på grunn av stordriftsfordeler.

Tabell 20 Gjennomsnittskostnader i konsept implementering 3.7 relativt til referanse 0+, 2060

Kostnader per TEU	Referanse 0+	imp 3.7	Endring (absolutt)	Endring (relativ)
Jernbane	169	166	-3	-2 %
Terminal	78	62	-15	-20 %
Vei	133	119	-14	-11 %
Faste kostnader	12	7	-5	-39 %
Sum	392	355	-38	-10 %

2.7 Konsept 4.8.3

Konsept 4.8.3 er begrenset til 750 000 TEU i 2040 og 900 000 TEU i 2060. Dette volumet legges også til grunn i beregningene.

I konsept 4.8.3 må noen vognstammer fremdeles deles i lastespor. Andelene vises i tabellen nedenfor.

	Andel delt i lastespor virkedag	Andel delt i R virkedag
4.8.3, 2040, 750 000 TEU	30 %	0 %
4.8.3, 2060, 900 000 TEU	35 %	0 %

Sammenliknet med referanse 0+ er det beregnet å gi en redusert tid til skiftebevegelser på 6,8 minutter per syklus i 2040. I tillegg er det 1,1 minutter i mindre avgangsforsinkelse. Dette gir 7,9 minutter i spart tid til skifting/forsinkelse per syklus i konsept 4.8.3, noe som gir en gjennomsnittlig besparelse på 3,9 minutter per ankomst/avgang. Dette gir oss følgende besparelse i tidsbruk jernbane i konseptet. I 2060 er tilsvarende besparelse beregnet til 5,8 minutter.

Sammenliknet med referanse 0+ er det også i dette konseptet avsatt betydelig mer tid til lastning eller lossing.

Tabell 21 Tidsbruk jernbane i konsept 4.8.3, 2040

Tidsbruk	Referanse 0+	konsept 4.8.3	Endring (absolutt)	Endring (relativ)
Skifting (minutter)	34	30	-3,93	-11 %
Tid i lastespor til lastning eller lossing (minutter)	95	138	43	45 %
Øvrig tid vognstamme (minutter)	296	258	-39	-13 %
Total oppholdstid vognstamme (minutter)	471	471	0,00	0 %

Konsept 4.8.3 har lastemoduler for både portalkran og mobilt løfteutstyr. I analyse av omlastingskapasitet er det beregnet at 57 prosent av volumet betjenes med kran, og resten med mobilt løfteutstyr.

I analyse av omlastingskapasitet er det oppgitt 6 kraner og beregnet et behov for mobilt løfteutstyr på 8,2 enheter. Det er her rundet opp til nærmeste heltall og lagt til to i reserve. Vi har da 11 enheter totalt, fordelt på 4 reachstackere og 7 gaffeltrucker. Det er antatt 2 terminaltraktorer, noe som gir omtrent samme gjennomsnittlige utnyttelse som i referanse 0+.

Det forutsettes at ytelsen til det mobile løfteutstyret øker til 100 prosent, noe som innebærer tidsbesparelser på 25 prosent for hvert løft med mobilt løfteutstyr.

Behovet for «ekstraløft» i depot reduseres med 67 prosent pga. mange depotplasser. Det er lagt til grunn 556 plasser i depot, mot 317 plasser i referanse 0+.

Det antas at behovet for forflytning av semitrailere mellom eksternt lager og depot reduseres med 69 prosent per semihenger sammenliknet med referanse 0+. Dette er delvis grunnet flere direkte leveranse mellom kunde og tog, samt at det er flere oppstillingsplasser for semihengere i depot enn i referanse 0+. Det er lagt til grunn 352 oppstillingsplasser for semihengere i lastemodulene, og beregningen følger ellers prinsippene beskrevet i kapittel 2.4.

Tabell 22 Forutsetninger terminal konsept 4.8.3, 2040

Terminal	Referanse 0+	konsept 4.8.3	Endring (absolutt)	Endring (relativ)
Driftsforutsetninger				
Fordeling kran	24 %	57 %	33 %	138 %
Fordeling mobil	76 %	43 %	-33 %	-43 %
Antall kraner	2	6	4	200 %
Antall reachstackere	6	4	-2	-33 %
Antall gaffeltrucker	9	7	-2	-22 %
Antall terminaltraktorer	5	2	-3	-60 %
Tidsbruk kran				
Tid i lastespor til lasting eller lossing (timer)	2,5	3,2	0,7	28 %
Andel direkte vekselflak	48 %	54 %	6 %	13 %
Andel direkte semihenger	39 %	45 %	6 %	15 %
Andel direkte container 20 fot	23 %	28 %	5 %	20 %
Andel direkte container 40 fot	23 %	28 %	5 %	20 %
Andel i depot som får et tredje løft	10 %	3 %	-7 %	-67 %
Antall løft per time (full utnyttelse)	30	30	0	0 %
Ytelse	100 %	100 %	0 %	0 %
Tidsbruk per løft (minutter)	2,0	2,0	0,0	0 %
Driftsforutsetninger mobil løfteutstyr				
Tid i lastespor til lasting eller lossing (minutter)	1,3	1,1	-0,2	-15 %
Andel direkte vekselflak	33 %	30 %	-3 %	-9 %
Andel direkte semihenger	27 %	24 %	-3 %	-10 %
Andel direkte container 20 fot	14 %	12 %	-2 %	-12 %
Andel direkte container 40 fot	14 %	12 %	-2 %	-12 %
Andel i depot som får et tredje løft	10 %	3 %	-7 %	-67 %
Tidsbruk reachstacker				
Antall løft per time (full utnyttelse)	25	25	0	0 %
Ytelse	75 %	100 %	25 %	33 %
Tidsbruk per løft (minutter)	3,2	2,4	-0,8	-25 %
Tidsbruk gaffeltruck				
Antall løft per time (full utnyttelse)	38	38	0	0 %
Ytelse	75 %	100 %	25 %	33 %
Tidsbruk per løft (minutter)	2,1	1,6	-0,5	-25 %
Tidsbruk terminaltraktor				
Andel semitrailere som må flyttes til/fra eksternt lager	51 %	16 %	-35 %	-69 %
Tidsbruk per forflytning av semitrailer u/ trengsel (min)	3,0	3,0	0	0 %

Ytelse	75 %	100 %	25 %	33 %
Tidsbruk per forflytning av semitrailer (min)	4,0	3,0	-1,00	-25 %

Tilsvarende vurdering som ovenfor om besparelser i kjøring inne på terminalområdet med 100 prosent ytelse pga. redusert trengsel i fullt utbygd konsept. Dette reduserer kjøretiden med 25 prosent.

Det er to planoverganger som forårsaker venting i konsept 4.8.3. Sammenliknet med referanse 0+ er det likevel en mye lavere andel av trafikken som må gjennom planovergangen. Det er lagt til grunn en besparelse sammenliknet med referanse 0+ på 0,62 minutter i gjennomsnitt per bil.

Tabell 23 Tidsbruk vei konsept 4.8.3

Vei	Referanse 0+	konsept 4.8.3	Endring (absolutt)	Endring (relativ)
Tidsbruk lastebil				
Kjøring inne på terminalområde u/ trengsel (minutter)	3,0	3,0	0,0	0 %
Ytelse	75 %	100 %	25 %	33 %
Kjøring inne på terminalområde (minutter)	4,0	3,0	-1,0	-25 %
Øvrig tidsbruk (minutter)	13	13	-0,6	-5 %
Sum tid per lastebil (minutter)	17,0	15,8	-1,6	-10 %

Virkningen som er beskrevet ovenfor er verdsatt med enhetspriser beskrevet i kapittel 6 og beregnet med modellbeskrivelsen i kapittel 5. Beregningene viser at enhetsprisen reduseres med 7 prosent i konsept 4.8.3 sammenliknet med referanse 0+.

Tabell 24 Gjennomsnittskostnad i konsept 4.8.3 relativt til referanse 0+

Kostnader per TEU	Referanse 0+	konsept 4.8.3	Endring (absolutt)	Endring (relativ)
Jernbane	173	170	-4	-2 %
Terminal	81	77	-4	-5 %
Vei	140	127	-13	-10 %
Faste kostnader	13	11	-3	-20 %
Sum	408	384	-24	-6 %

I 2060 er besparelsen 8 prosent sammenliknet med referanse 0+.

Tabell 25 Gjennomsnittskostnad i konsept 4.8.3 relativt til referanse 0+, 2060

Kostnader per TEU	Referanse 0+	konsept 4.8.3	Endring (absolutt)	Endring (relativ)
Jernbane	169	164	-5	-3 %
Terminal	78	68	-10	-13 %
Vei	133	120	-13	-10 %
Faste kostnader	12	9	-3	-28 %
Sum	392	361	-31	-8 %

2.8 Konsept 4.8.3 implementeringskonsept

I implementeringskonseptet 4.8.3 er det lagt til grunn et volum på 760 000 TEU i 2040 og 910 000 TEU i 2060, i samsvar med kapasitetsanalysene.

I implementeringskonseptet for 4.8.3 er det behov for deling av tog som vist i tabellen nedenfor.

	Andel delt i lastespor virkedag	Andel delt i R virkedag
4.8.3 impl. 2040, 760 000 TEU	45 %	0 %
4.8.3 impl. 2060, 910 000 TEU	52 %	0 %

Disse andelen er beregnet å gi en tidsbesparelse i gjennomsnitt på 3,3 minutter per syklus sammenliknet med referanse 0+ i 2040. I tillegg kommer 1 minutt mindre avgangsforsinkelse sammenliknet med referanse 0+. Til sammen gir dette en besparelse på 4,4 minutter per syklus, som i gjennomsnitt blir 2,16 minutter per ankomst/avgang. Tilsvarende besparelse i 2060 er beregnet til 3,74 minutter.

Tabell 26 viser oppsummerte antakelser om tidsbruken på jernbane i implementeringskonsept 4.8.3. Det er også her mer tid til lastning eller lossing i lastespor sammenliknet med referanse, men ikke like mye endring som i de andre konseptene.

Tabell 26 Tidsbruk jernbane konsept 4.8.3 implementering, 2040

Tidsbruk	Referanse 0+	imp 4.8.3	Endring (absolutt)	Endring (relativ)
Skifting (minutter)	34	32	-2,16	-6 %
Tid i lastespor til lastning eller lossing (minutter)	95	137	42	44 %
Øvrig tid vognstamme (minutter)	296	257	-39	-13 %
Total oppholdstid vognstamme (minutter)	471	471	0,00	0 %

I analyse av omlastingskapasitet er det beregnet at 47 prosent av volumet håndteres med kran og 53 prosent håndteres med mobilt løfteutstyr. I analyse av omlastingskapasitet er det oppgitt 5 kraner og et behov for 11,3 enheter mobilt løfteutstyr. Dette avrundes til nærmeste heltall og det legges til to i reserve for å få totalt 14 enheter mobilt løfteutstyr, fordelt på 5 reachstackere og 9 gaffeltrucker. I tillegg er det 4 terminaltraktorer. Dette gir omtrent samme gjennomsnittlige utnyttelse for terminaltraktor som i referanse 0+.

Økt tid i lastespor gir flere direkte omlastinger mellom tog og kunde også i dette konseptet. Andelen for de ulike lastbærerne er vist i Tabell 27.

Også i implementeringskonseptet antas det at behovet for «ekstraløft» reduseres som følge av flere depotplasser. Det er anslått 514 plasser i depot i dette konseptet, og med formelen som er beskrevet i kapittel 2.4 reduserer dette behovet for ekstraløft med 62 prosent.

Det er brukt 213 oppstillingsplasser for semihengere i depot i implementeringskonseptet. Dette gir redusert behov for forflytning mellom lastemodul og eksternlager, og med effekten av økt levering/henting direkte til kunde, blir behovet for forflytning til eksternlager redusert med 31 prosent per semihenger sammenliknet med referanse 0+.

Ytelsen til det mobile løfteutstyret er fremdeles 75 % fordi man ikke gjør noe med bredde på lastegater som betjenes med mobilt løfteutstyr.

Tabell 27 Forutsetninger terminal i implementeringskonsept 4.8.3, 2040

Terminal	Referanse 0+	imp 4.8.3	Endring (absolutt)	Endring (relativ)
Driftsforutsetninger				
Fordeling kran	24 %	47 %	23 %	96 %
Fordeling mobil	76 %	53 %	-23 %	-30 %
Antall kraner	2	5	3	150 %
Antall reachstackere	6	5	-1	-17 %
Antall gaffeltrucker	9	9	0	0 %
Antall terminaltraktorer	5	4	-1	-20 %
Tidsbruk kran				
Tid i lastespor til lasting eller lossing (timer)	2,5	3,5	1,0	40 %
Andel direkte vekselflak	48 %	57 %	9 %	18 %
Andel direkte semihenger	39 %	47 %	8 %	20 %
Andel direkte container 20 fot	23 %	30 %	6 %	28 %
Andel direkte container 40 fot	23 %	30 %	6 %	28 %
Andel i depot som får et tredje løft	10 %	4 %	-6 %	-62 %
Antall løft per time (full utnyttelse)	30	30	0	0 %
Ytelse	100 %	100 %	0 %	0 %
Tidsbruk per løft (minutter)	2,0	2,0	0,0	0 %
Driftsforutsetninger mobilt løfteutstyr				
Tid i lastespor til lasting eller lossing (minutter)	1,3	1,2	-0,1	-8 %
Andel direkte vekselflak	33 %	32 %	-1 %	-4 %
Andel direkte semihenger	27 %	25 %	-1 %	-5 %
Andel direkte container 20 fot	14 %	13 %	-1 %	-6 %
Andel direkte container 40 fot	14 %	13 %	-1 %	-6 %
Andel i depot som får et tredje løft	10 %	4 %	-6 %	-62 %
Tidsbruk reachstacker				
Antall løft per time (full utnyttelse)	25	25	0	0 %

Ytelse	75 %	75 %	0 %	0 %
Tidsbruk per løft (minutter)	3,2	3,2	0,0	0 %
Tidsbruk gaffeltruck				
Antall løft per time (full utnyttelse)	38	38	0	0 %
Ytelse	75 %	75 %	0 %	0 %
Tidsbruk per løft (minutter)	2,1	2,1	0,0	0 %
Tidsbruk terminaltraktor				
Andel semitrailere som må flyttes til/fra eksternlager	51 %	35 %	-16 %	-31 %
Tidsbruk per forflytning av semitrailer u/ trengsel (min)	3,0	3,0	0	0 %
Ytelse	75 %	75 %	0 %	0 %
Tidsbruk per forflytning av semitrailer (min)	4,0	4,0	0,00	0 %

På veisiden er det antatt at det fremdeles er trengsel i lastegater, og derfor samme reduserte ytelse som i referanse 0+. Det er fremdeles fire planoverganger i implementering 4.8.3, men en mindre andel av bilene går gjennom disse planovergangene. Det anslås en besparelse på 0,31 minutter per bil sammenliknet med referanse 0+.

Tabell 28 Forutsetninger vei i implementeringskonsept 4.8.3

Vei	Referanse 0+	imp 4.8.3	Endring (absolutt)	Endring (relativ)
Tidsbruk lastebil				
Kjøring inne på terminalområde u/ trengsel (minutter)	3,0	3,0	0,0	0 %
Ytelse	75 %	75 %	0 %	0 %
Kjøring inne på terminalområde (minutter)	4,0	4,0	0,0	0 %
Øvrig tidsbruk (minutter)	13	13	-0,3	-2 %
Sum tid per lastebil (minutter)	17,0	16,8	-0,2	-2 %

Effektene som er beskrevet ovenfor er verdsatt med enhetskostnader oppgitt i kapittel 6 og beregnet med modellbeskrivelsen i kapittel 5. Implementeringskonseptet 4.8.3 er beregnet å gi 2 prosent reduksjon i enhetskostnadene sammenliknet med referanse 0+.

Tabell 29 Gjennomsnittskostnader i konsept implementering 4.8.3 relativt til referanse 0+, 2040

Kostnader per TEU	Referanse 0+	imp 4.8.3	Endring (absolutt)	Endring (relativ)
Jernbane	173	171	-2	-1 %
Terminal	81	82	1	1 %
Vei	140	138	-3	-2 %
Faste kostnader	13	10	-3	-21 %
Sum	408	401	-7	-2 %

Besparelsen i 2060 er på om lag 3 prosent.

Tabell 30 Gjennomsnittskostnader i konsept implementering 4.8.3 relativt til referanse 0+, 2060

Kostnader per TEU	Referanse 0+	imp 4.8.3	Endring (absolutt)	Endring (relativ)
Jernbane	169	166	-4	-2 %
Terminal	78	73	-4	-5 %
Vei	133	130	-2	-2 %
Faste kostnader	12	9	-3	-29 %
Sum	392	378	-14	-3 %

2.9 Oppsummert vurdering

I Tabell 31 sammenliknes de ulike konseptene vurdert mot referanse for de ulike kostnadsgrupperingene for 2040. Konsept 3.7, implementering 3.7 og konsept 4.8.3 kommer så å si likt ut med 6-7 prosent besparelse. Implementeringskonsept 4.8.3 har lavest effektivisering med omtrent 2 prosent.

Vi ser at det er hovedkonsept 3.7 som har størst reduksjon i driftskostnadene innenfor grupperingen jernbane. Dette er pga. mindre behov for deling og skjøting av tog. I implementeringskonseptene er det liten besparelse i tid til skiftebevegelser fordi mange tog fremdeles må deles. I hovedkonsept 4.8.3 er det 2 prosent besparelse innenfor denne kostnadskategorien i 2040.

Innenfor grupperingen «terminal», som omhandler løfteutstyr og ressursbruk i forbindelse med løft, finner vi at konsept 4.8.3 kommer best ut. Det kan kanskje overraske noen at konsept 3.7 oppnår kun 6 prosent reduksjon i enhetskostnader. Dette har sammenheng med at kranene har høye kapitalkostnader. Selv om mannskapskostnadene reduseres betraktelig, øker kapital- og vedlikeholdskostnadene per TEU med om lag 33 prosent sammenliknet med referanse.

På veisiden er det hoved- og implementeringskonseptene 3.7 som kommer best ut, pga. sanering av planovergang og en antatt økning i ytelse, blant annet pga. mindre konflikt mellom biler og mobilt løfteutstyr. Konsept 4.8.3 har nesten samme reduksjon, og dette viser at det er antakelsene om redusert trengsel som har størst betydning, og virkning av sanering av planovergang har mindre å si. Implementeringskonseptet 4.8.3 har ingen antakelse om trengselsreduksjon, og får dermed en marginal besparelse.

Besparelsen i faste kostnader per enhet er på grunn av stordriftsfordeler størst for de konseptene som har høyest beregnet kapasitet.

Tabell 31 Sammenlikning effektivitet konsepter, 2040

Kostnader per TEU	konsept 3.7	imp 3.7	konsept 4.8.3	imp 4.8.3
Jernbane	-4 %	-1 %	-2 %	-1 %
Terminal	1 %	-8 %	-5 %	1 %
Vei	-11 %	-11 %	-10 %	-2 %
Faste kostnader	-25 %	-25 %	-20 %	-21 %
Sum	-6 %	-7 %	-6 %	-2 %

I 2060-beregningene er det større forskjeller mellom konseptene, og dette har spesielt sammenheng med stordriftsfordeler ved terminalen. Her blir terminaler med høy kapasitet beregnet med relativt store gevinster.

Tabell 32 Sammenlikning effektivitet konsepter, 2060

Kostnader per TEU	konsept 3.7	imp 3.7	konsept 4.8.3	imp 4.8.3
Jernbane	-5 %	-2 %	-3 %	-2 %
Terminal	-17 %	-20 %	-13 %	-5 %
Vei	-11 %	-11 %	-10 %	-2 %
Faste kostnader	-41 %	-39 %	-28 %	-29 %
Sum	-11 %	-10 %	-8 %	-3 %

3 Følsomhetsanalyser

For utvalgte parametere vurderes resultater med endrede forutsetninger.

3.1 Automatiserte kraner

Som en grov forenkling antar vi simpelthen at mannskapskostnadene til kranføring kan reduseres med 90 prosent ved automatisering. Vi ser da at konsept 3.7 kommer ut med størst effektivitetsgevinst, men at det fremdeles ikke er veldig store forskjeller mellom konseptene. Alle tall i Tabell 33 er fremdeles relativt til referanse, men det er i tillegg inkludert gevinsten av automatiserte kraner også i referansesituasjonen.

Tabell 33 Følsomhetsanalyse automatiserte kraner

Kostnader per TEU, 2040	konsept 3.7	imp 3.7	konsept 4.8.3	imp 4.8.3
total	-10 %	-9 %	-9 %	-6 %

3.2 Brukerkostnader ved statlig eierskap av utstyr

Gjennom å investere i portalkraner vil staten overta en del av kostnadsbildet fra terminaloperatørene. Dersom staten ikke velger å brukerfinansiere dette løfteutstyret, vil det isolert sett tale for lavere enhetskostnader for brukerne av terminalen. Det er viktig å understreke at dette ikke er en effektiviseringsgevinst, men en overføring av kostnader fra en eller flere aktører til en annen.

Med en antakelse om at staten investerer i portalkraner uten å brukerfinansiere disse, vil dette gi en reduksjon i brukerkostandene på 17 prosent i konsept 3.7, som er konseptet med mest bruk av portalkran. Effekten øker med hvor stor andel av løfteutstyret som er kran i konseptet.

Tabell 34 Følsomhetsanalyse brukerkostnader ved statlig eierskap av løfteutstyr

Kostnader per TEU, 2040	konsept 3.7	imp 3.7	konsept 4.8.3	imp 4.8.3
total	-17 %	-11 %	-12 %	-6 %

4 Bruk av omlastingskostnader i NGM

I analysene som er gjort hittil i KVV for godsterminalstruktur i Oslofjordområdet er det benyttet en versjon av den nasjonale godstransportmodellen (NGM) med kostnadsmodell i modellsystemet med basisår 2012 (Grønland, 2015).

Alnabruterminalen er kodet inn i modellen som en klasse 3-terminal. For hver enkelt kjøretøytype er det oppgitt laste- eller lossekostnader per tonn for de ulike terminalklassene. Tabell 35 viser laste- og lossekostnadene som er relevante for Alnabru i versjonen av NGM som er benyttet i tidlige analyser i KVV for godsterminalstruktur i Oslofjordområdet. I denne versjonen av NGM er laste- og lossekostnadene eksogent gitt, og ikke beregnet på grunnlag av inndata som beskrives i kapittel 5.

Tabell 35 Laste- og lossekostnader i NGM (betegnelser fra NGMs klassifisering av kjøretøytyper)

Mode	Vehicle	Navn	Laste- eller lossekostnader per tonn, kr
2	2	Semitrailer ¹³	100
7	1	Elektrisk kombitog	160

I laste- og lossekostnadene, slik de er oppgitt i Tabell 35, er imidlertid kostnader til fylling og tømning av lastbærerene inkludert («stuffing» og «stripping»). Grønland (2018) gir en mer utfyllende forklaring av transferkostnader.

For å finne riktig omlastingskostnad når det kun er lastbærerene som forflyttes på terminalen, benyttes et fradrag som ligger under «Transfer» i modellen. For aktuell terminalklasse og de kjøretøytyper som er oppgitt Tabell 35, benyttes et fradrag på kr 220.

Omlastingskostnaden/transferkostnaden finner vi da ved å ta summen av lossing bil og lasting tog fratrukket fradraget som oppgis som transfer. I dette tilfellet finner vi at transferkostnaden per tonn er:

$$\text{transferkostnad} = 160 + 100 - 220 = 40$$

Med antakelse om 9,5 tonn per TEU og en generell prisstigning fra 2012 til 2016 på 10 %, finner vi at gjennomsnittlig omlastingskostnad blir:

$$\text{terminalkostnad per TEU} = 40 * 1,1 * 9,5 = 418$$

Det legges til grunn at det er anslagsvis denne kostnaden som legges til grunn i modellberegningene for referanse 0+ i KVV for godsterminalstruktur i Oslofjordområdet. Vi legger til grunn at denne kostnaden er representativ for referansealternativet, og at kostnader i de alternative utbyggingskonseptene reduseres i samsvar med det vi har beregnet som prosentvis reduksjon i driftskostnadene.

¹³ Kan være semihenger med last eller med container

5 Modellbeskrivelse

Terminalkostnadene defineres som alle kostnadene som påløper for ulike aktører i forbindelse med virksomheten innenfor terminalens grenser. Terminalkostnadene inkluderer eksempelvis ikke kostnader ved framføring av godset mellom to terminaler, men inkluderer eksempelvis kostnader ved å ha vognstammer stående i ventespør på terminalen.

I denne modellbeskrivelsen inkluderes kun driftskostnader for utstyr¹⁴ til løft (kraner, reachstackere, trucker og terminaltraktorer), skifting, godstog, lastebiler og administrasjon innenfor terminalgrensene.

I de påfølgende uttrykkene brukes følgende notasjon for variabler og parametere:

C := total kostnad (kroner per år)

c := gjennomsnittskostnad per TEU

v := tidsverdi (kostnad per tidsenhet)

t := tidsbruk

π := andeler

q := antall enheter (TEU) per kjøretøy

X := antall TEU (per år, inkludert tomme lastbærere)

w := lønnskostnad per tidsenhet

Fotskriftsnotasjon:

U Utstyr til løft

S Skifting

T Tog og klargjøring

L Lastebil

A Administrasjon

Kostnadsenhetene måles i kroner og tidsenhetene i timer.

Enhetene som behandles på terminalen fordeler seg på forskjellige typer lastbærere. Vi betegner π^{semi} , π^{cont} og π^{flak} andelene for henholdsvis semitrailere, containere og vekselflak. Disse andelene summerer seg til 1.

¹⁴ Tidskostnader for godset beregnes i NGM basert på total transportkjede og inngår i beregning av transportmiddelvalg.

Totalkostnaden kan dekomponeres i kostnader forbundet med ulike prosesser på terminalen. Med notasjonen ovenfor kan vi beskrive totalkostnaden på følgende måte:

$$C = C_U + C_S + C_T + C_L + C_A$$

Gjennomsnittskostnaden per TEU er gitt ved

$$c = \frac{C}{X}$$

og vi kan også uttrykke de dekomponerte kostnadselementene som

$$c = c_U + c_S + c_T + c_L + c_A.$$

Fordi utstyr til løft og skifting består av et heltallig antall enheter, vil tidskostnadene i realiteten avhenge av hvor høyt de er utnyttet. I terminalkostnadsmodellen utviklet av SITMA er det funksjonalitet for diskontinuerlige endringer i tidskostnader for utstyr til løft og skifting når man må legge til eller trekke fra en enhet for å oppnå passende kapasitet. Dette skaper diskontinuitet i funksjonene og gjør det vanskeligere å analysere. Dette er forenklet bort i modellbeskrivelsen som presenteres i dette notatet. Forenklingen impliserer at alt utstyr til enhver tid har en konstant kapasitetsutnyttelse, som er en grei forenkling for å belyse strukturen i terminalkostnadsmodellen.

Nedenfor tar vi for oss hver av de ulike kostnadskomponentene og ser nærmere på hva de består av.

5.1 Utstyrs-kostnader (U)

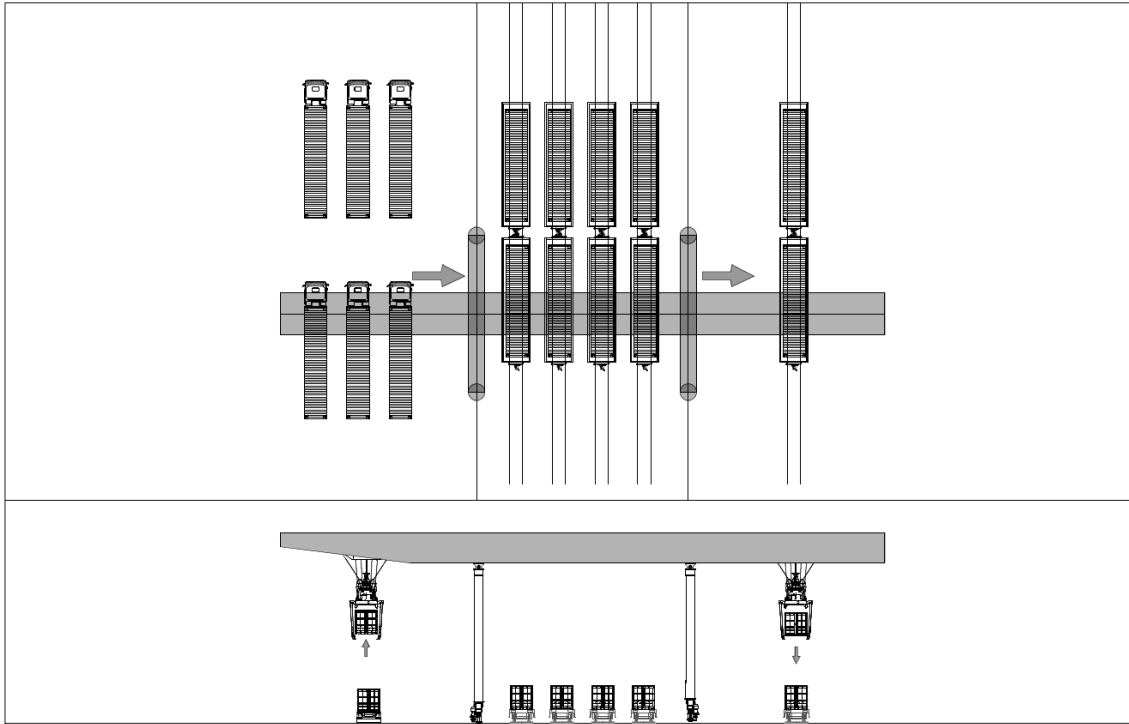
Disse kostnadene er forbundet med behandling av enhetene med henholdsvis kran, reachstackere og trucker. Det er kostnader forbundet med avskrivning, renter av bundet kapital, vedlikehold og energibruk ved utstyret, samt mannskapskostnader i forbindelse med løfteoperasjonene.

I denne modellen er antall av ulikt type utstyr eksplisitt gitt. Vi beregner årlige kapital- og vedlikeholdskostnader for utstyret, total effektiv tidsbruk ila. et år for ulike type løfteutstyr gir årlige mannskaps- og energikostnader, og dette benyttes videre for en gjennomsnittskostnad per TEU basert på årlig volum.

Tildelingen av løfteutstyr til de ulike enhetene følger følgende prinsipper: Andelen som løftes med kran er eksogent gitt, og det øvrige volumet betjenes med mobile løfteenheter. I kranmodulene løftes alle enheter med kran, mens i løft med mobilt løfteutstyr antas det at semitrailere og 40-45-fots containere må betjenes med reachstacker, mens vekselflak og 20-fots containere i tillegg kan betjenes med gaffeltruck.

Det beregnes antall løft per enhet for de ulike lastbærerne. For mobile lastespor blir det beregnet hvor stor andel av løftene som må være toppløft (med reachstacker). Deretter beregnes andel løft av 20-fots containere og vekselflak med reachstacker ut fra et forholdstall basert på reachstackerens restkapasitet. For flere detaljer vises det til regnearkmodellen.

Lastenhetene forflyttes mellom bil og tog (se Figur 2) eller mellom tog (se Figur 4). En andel av løftene mellom bil og tog går via internt lager. En andel av semi-trailerne kjøres til og fra eksternt lager med såkalte tugmastere (tug). En andel av enhetene i depot løftes i tillegg en tredje gang fordi de står i veien for andre enheter. Alt dette påvirker gjennomsnittlig antall løft per enhet og dermed gjennomsnittlig tidsbruk per enhet for de ulike lastbærerene. Når dette kombineres med lønns- og energikostnader, kan vi finne totale kostnader og deretter gjennomsnittskostnad per enhet.



Figur 2 Løft av container fra lastebil til tog

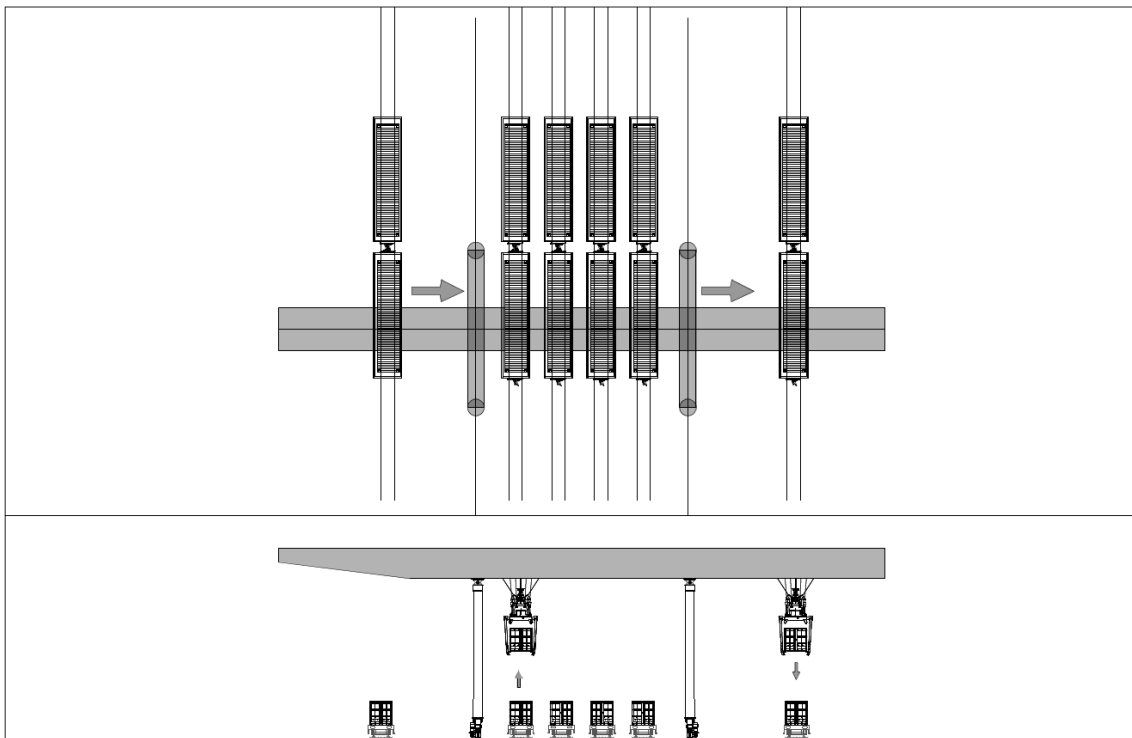
Forenklet kan kostnader til løft uttrykkes som

$$c_U = \frac{\sum_i (Q^i V^i + T^i (w + p^i))}{X}$$

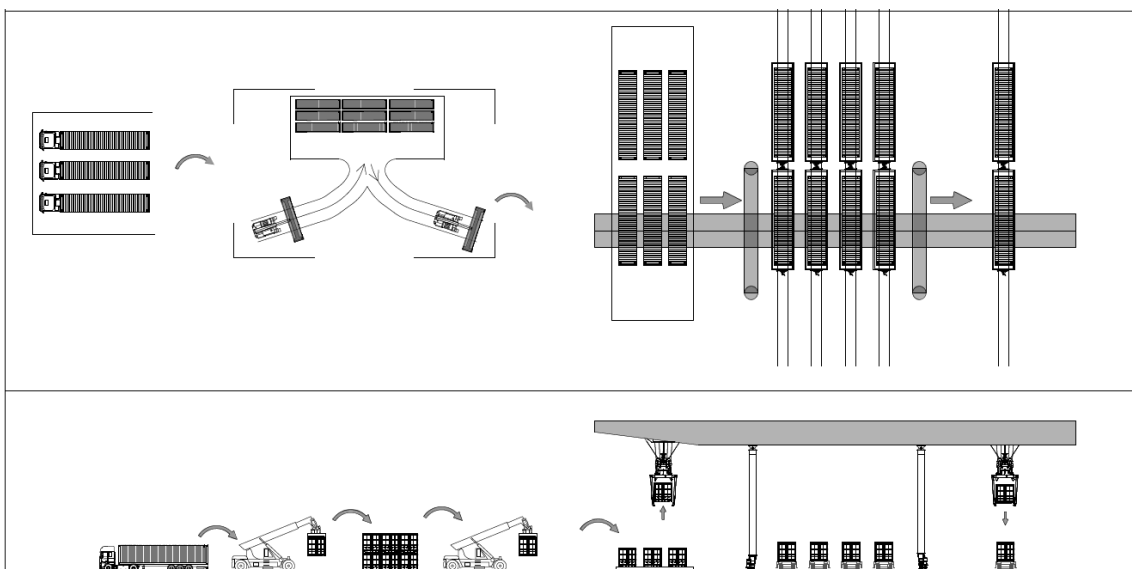
for

$$i = \{truck, kran, RS, tug\}$$

Her er Q antall av en gitt utstyrstype, V er årlige kapital- og vedlikeholdskostnader, T er antall aktive driftstimer årlig med en gitt utstyrstype, w er lønnskostnad per time og p er energikostnad per time for en gitt utstyrstype.



Figur 4 Løft av container fra et tog til et annet tog



Figur 3 Løft av container til lager, løft fra lager til depot ved kranmodul, løft fra depot til tog

5.2 Tog- og klargjøringskostnader (T)

I det følgende brukes følgende forkortelser for toppskriftsnotasjon:

lalo Laste og losse vognstammen

vevo Venting vognstamme

velo Venting lokomotiv

klar Klargjøring

Kostnadene knyttet til tog- og klargjøringskostnader på terminalen kan dekomponeres til kostnader knyttet til forskjellige prosesser. Det er kostnader forbundet med å ha vognstammer stående både i lastespor og i ventespor¹⁵ og dette er også kostnader som må bli dekket inn et sted og dermed med i modellen. Mannskap og kapital blir også bundet opp ved at lokomotivene må vente på terminalen. I tillegg er det klargjøringskostnader i forbindelse med rutiner for sjekk av tog ved ankomst og avgang som må tas hensyn til.

Gjennomsnittskostnaden per TEU per tog for tog- og klargjøringskostnader¹⁶ kan uttrykkes ved:

$$c_T = \frac{(t_T^{lalo} + t_T^{vevo}) \cdot v_T^{vogner} + t_T^{velo} \cdot v_T^{lok} + t_T^{klar} \cdot v_T^{klar}}{q^{tog}}$$

der tidsverdiene reflekterer alternativverdien av å binde materiell og mannskap opp i operasjoner på terminalen.

I tidsverdien for vognstammene inngår avskrivning og renter på bundet kapital per vogn. Vognene som benyttes til semitrailere er dyrere enn andre vogner og gjennomsnittlig tidsverdi for vognstammen avhenger dermed av andelen semitrailere, π^{semi} . Vi kan uttrykke dette som

$$v_T^{vogner} = q^{vogner} v_{vogn} (\pi^{semi} \lambda + (1 - \pi^{semi}))$$

der q^{vogner} angir gjennomsnittlig antall vogner per tog, v_{vogn} angir tidsverdien per vogn og λ er en skaleringsfaktor for kostnaden per vogn beregnet for semitrailere relativt til kostnaden per ordinær godsvogn.

v_T^{lok} utgjør kostnaden ved bundet kapital på lokomotivet, gitt et årlig antall driftstimer, i tillegg til lønnskostnad lokomotivfører.

Tidsverdien forbundet med klargjøring er et produkt av lønnskostnad, w , og antall personer, e^{klar} , som er involvert i klargjøringen, slik at

$$v_T^{klar} = w \cdot e^{klar}.$$

5.3 Skiftekostnader (S)

Vi uttrykker skiftekostnadene ved

$$c_S = \frac{t_S (v_S^{lok} + v_S^{man} + v_T^{vogner})}{q^{tog}}$$

¹⁵ Her er det verdt å merke seg at venting for vognstammer på terminalen er en variabel som ikke nødvendigvis påvirkes av terminalens design. Årsakene til at vognstammer står flere timer i ventespor kan være bindinger i ruteplanen/driftsopplegget eller at det er langvarig parkering i lavtrafikkperioder.

¹⁶ I SITMA-modellen er kostnader ved å vognstammen bundet opp i skifting inkludert i tog- og klargjøringskostnadene. Dette framstår som en dobbelttelling, i og med at samme tidsbruk også er inkludert under kategorien *skiftekostnader*. Det er rettet opp i modellversjonen som presenteres i dette notatet.

der t_S er gjennomsnittlig tidsbruk i skifting per tog, v_S^{lok} er tidsverdi for skiftelokomotivet inkludert lokfører, v_S^{man} er lønnskostnaden knyttet til øvrig mannskap som er bundet opp i skifteoperasjonene og v_T^{vogn} er tidsverdien for vognstammene som beskrevet under kapittelet for tog- og klargjøringskostnader. q^{tog} er gjennomsnittlig antall TEUs per tog.

Mannskapskostnaden kan uttrykkes som

$$v_S^{man} = w \cdot e_S$$

der e_S er antall personer som benyttes i skifteoperasjonene.

Tidsverdien for skiftelokomotivet avhenger av gjennomsnittlig utnyttelse av dette materiellet. Dette utdypes nedenfor i hvilke forutsetninger som legges til grunn.

5.4 Lastebilkostnader (L)

Lastebilkostnadene differensieres på ulike lastbærere, slik at vi har c_L^{semi} , c_L^{cont} og c_L^{flak} for den gjennomsnittlige lastebilkostnaden per TEU for håndtering av henholdsvis semitrailere, containere og vekselflak. Gjennomsnittlig lastebilkostnad per TEU blir derfor et vektet gjennomsnitt av lastebilkostnadene ved de ulike lastbærerne:

$$c_L = \sum_i \pi^i c_L^i \text{ for } i = \{semi, cont, flak\}$$

Den gjennomsnittlige lastebilkostnaden per TEU for de ulike lastbærerne kan uttrykkes som en sammenheng mellom tidsbruk per lastebil, t_L^i , tidskostnaden til lastebilen, v_L^i , og hvor mange TEU hver lastebil i gjennomsnitt håndterer for de ulike lastbærerne i . Vi lar q_L^i betegne gjennomsnittlig antall TEU per lastebil med lastbærer i . Vi kan uttrykke dette som

$$c_L^i = \frac{t_L^i \cdot v_L^i}{q^i} \text{ for } i = \{semi, cont, flak\}$$

t_L^i er summen av gjennomsnittlig tidsbruk per lastebil i forbindelse med kjøring på terminalen, lasting og lossing samt venting i forbindelse med de ulike prosessene på terminalen.

v_L^i er gjennomsnittlig tidsverdi for lastebiler som håndterer lastbærer i . Tidsverdien er summen av lønnskostnad og den tidsavhengige kostnaden knyttet til selve kjøretøyet. I den sistnevnte kostnadskomponenten inngår avskrivning, renter på bundet kapital, forsikring, årlige avgifter, osv. fordelt på gjennomsnittlig antall timer en lastebil er i drift. Til sammen skal denne tidsverdien være markedstilpasset og reflektere alternativkostnaden av å binde opp tidsbruken til lastebilen (med sjåfør) på terminalen.

5.5 Administrasjonskostnader (A)

Administrasjonskostnadene for terminaloperatør, TXP og terminaldrift for øvrig avhenger av husleie for administrasjonsbygg og antall årsverk knyttet til administrasjon og ledelse.

La H betegne årlig husleie, E_A være antall årsverk og W_A årlig lønnskostnad. Da er administrasjonskostnaden gitt ved

$$C_A = H + E_A W_A$$

og gjennomsnittskostnaden

$$c_A = \frac{C_A}{X}$$

Så lenge ikke økt produksjon fører til økte administrasjonskostnader, faller altså de gjennomsnittlige administrasjonskostnadene med økende volum.

6 Forutsatte parameterverdier

Kostnadssatser som er benyttet i modellen er oppgitt i Tabell 36. Satsene er stort sett basert på kostnadsmodellen til NGM, men noen av satsene er justert skjønnsmessig. For noen satser er det undersøkt markedspriser.

Lønnskostnaden for terminalarbeidere er satt skjønnsmessig, basert på at det ligger et sted mellom kostnaden for lastebilsjåfører og lokførere.

Tidskostnaden for lastebiler er beregnet basert på hva bilen alternativt får betalt per time når den er på andre oppdrag (basert på kostnadssatsene per time og km i NGM med antakelse om snitthastighet på 60 km/t ved øvrige oppdrag).

Tidsverdiene for vogner er justert ned, fordi det i NGMs kostnadsmodell gjøres en antakelse om svært få timer driftstid. Når vi her beregner kapitalkostnader for vognenes tid i terminalen, vil denne praksisen innebære en dobbelttelling. Vi beregner i stedet kapitalkostnaden med utgangspunkt i alle årets timer, men 75 % utnyttelse = 6570 timer. Anslaget på kapitalkostnad framkommer ved å ta NGMs anslag på årlig kapitalkostnad på 168 693 kr og dele på 6570 timer.

For løfteutstyret er det innhentet markedsdata for å beregne nye årlige kapital- og vedlikeholdskostnader, samt energikostnader. Det er antatt en rentekostnad på 4 % for alt løfteutstyr for å få det sammenliknbart med statlige investeringer.

Tabell 36 Forutsatte kostnadssatser

Jernbane		
Tidsverdier		
Standardvogn	26	kr/time
Lokomotiv	2 351	kr/time
Faktor semi	1,25	
Terminal		
Kapital- og vedlikeholdskostnader		
Kran	4 400 000	kr/år
Reachstacker	1 820 000	kr/år
Gaffeltruck	608 000	kr/år
Terminaltraktor	228 000	kr/år
Energikostnader		
Kran	45	kr/time
Reachstacker	124	kr/time
Gaffeltruck	98	kr/time
Tugmaster	46	kr/time
Lønnskostnader		
Terminalarbeider	672	kr/time
Vei		
Tidsverdier		
Trekkvogn semi	875	kr/time
Distribusjonsbil	805	kr/time

Faste kostnader		
Administrasjon		
Lønnskostnad	740000	kr/år

Andre forutsetninger som er benyttet i beregningene er oppgitt i Tabell 37.

Tabell 37 Øvrige forutsetninger som benyttes i beregningene

Jernbane		
Materiellforutsetninger		
Lengde lokomotiv	20	m
Lengde standardvogn	34	m
Kapasitet per standardvogn	4	TEU/vogn
Driftsforutsetninger		
Antall skiftekonduktører	1	person(er)
Antall personer i ankomst- og avgangsprosedyre	4	person(er)
Terminal		
Lastbærer		
Vekselflak	1,1	TEU/enhet
Semihenger	2,0	TEU/enhet
Container 20 fot	1,0	TEU/enhet
Container 40-45 fot	2,0	TEU/enhet
Vei		
Kjøretøyforutsetninger		
Utnyttelse distribusjon vekselflak	1,4	TEU/bil
Utnyttelse trekkvogn m/ semihenger	2,0	TEU/bil
Utnyttelse distribusjon container 20 fot	1,4	TEU/bil
Utnyttelse distribusjon container 40-45 fot	2,0	TEU/bil

7 Andre betraktninger

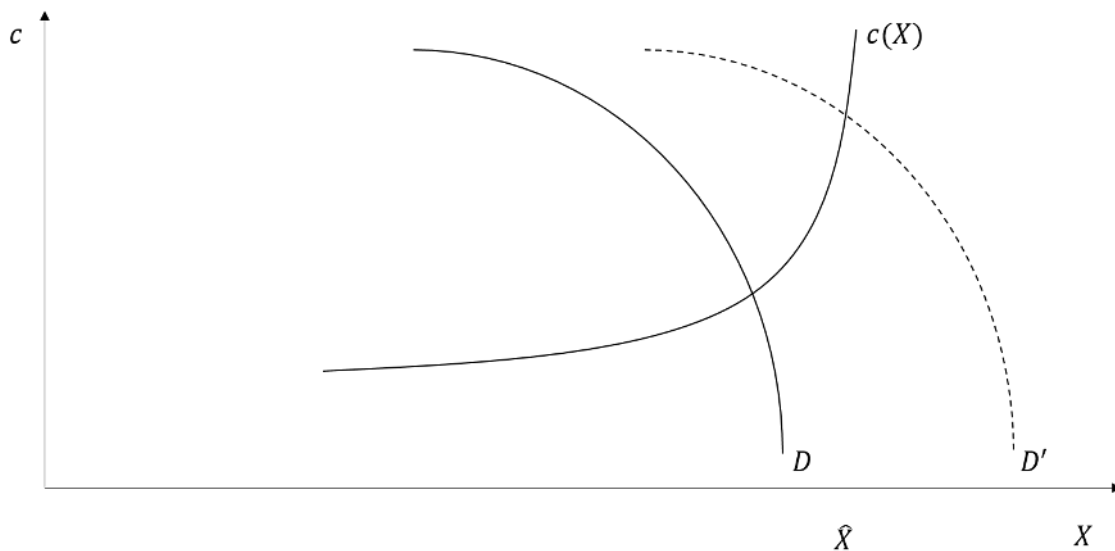
7.1 Sammenheng mellom gjennomsnittskostnad og kapasitetsutnyttelse

Noe denne kostnadsmodellen ikke illustrerer, er at gjennomsnittskostnaden vil avhenge av kapasitetsutnyttelsen. Ved svært lav kapasitetsutnyttelse vil det være fallende gjennomsnittskostnader fordi ressurser er uutnyttet (ikke vist i figuren), men på et tidspunkt vil prosesser begynne å konkurrere om den samme knappe infrastrukturkapasiteten og gjennomsnittskostnadene begynner å øke. Figur 5 illustrerer hvordan en slik sammenheng kan tenkes å se ut i det området der kapasitetsutnyttelsen begynner å bli anstrengt, nemlig at gjennomsnittskostnaden har en tiltakende vekst i godsvolum. I figureksempelen vokser den gjennomsnittlige terminalkostnaden svært raskt ved punktet for kapasitetsgrensen for terminalen, \hat{X} .

Etterspørselen etter terminaltjenester synker med økte terminalkostnader, illustrert ved den fallende etterspørselskurven, D . For å lage prognoser for antall TEU over terminalen for ulike beregningsår, bør vi ideelt sett finne helningen på etterspørselskurven og sammenhengene mellom gjennomsnittskostnaden og kapasitetsutnyttelse.

Med endringer i eksogene forhold som påvirker etterspørselen etter omlasting på terminalen (eksempelvis befolkningsvekst eller økt produksjon), kan vi tenke oss at etterspørselen vokser for et hvert nivå av gjennomsnittlig terminalkostnad. Vi kan illustrere dette med en parallellforskyvning av etterspørselskurven, D' .

Hvis kostnadsfunksjonen nærmer seg en vertikal asymptote når X nærmer seg \hat{X} , ser vi at likevekt mellom tilbud og etterspørsel impliserer at godsvolumet konvergerer mot kapasitetsgrensen etter hvert som etterspørselsfunksjonen parallellforskyves mot høyre.



Figur 5 Sammenheng mellom kapasitetsutnyttelse og etterspørsel

8 Referanser

ETC. (2016). *Alnabru – Multicriteria analysis, v.3.1, Cowi, 28.11.2016*. COWI.

Grønland, S. E. (2015). *Kostnadsmodeller for transport og logistikk - basisår 2012. TØI-rapport 1435/2015*. TØI.

Grønland, S. E. (2018). *Kostnadsmodeller for transport og logistikk – basisår 2016. TØI-rapport 1638/2018*. TØI.