



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2021 30 stp

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Handelshøyskolen

En kostnads- og optimaliseringsanalyse med forskjellige lastebiltyper

A cost and optimization analysis with different truck types

Fride Olin Myrvang & Øyvind Lothe Brunstad
Master i Økonomi og administrasjon

Sammendrag

Nasjonal Transportplan setter som mål at 50 prosent av nye lastebiler skal være nullutslippskjøretøy innen 2030. Denne oppgaven tar for seg en kostnadsanalyse av klimanøytrale og nullutslipps-lastebiler, sammenlignet med diesel-lastebiler.

Det er utført en case-studie på selskapet Miniekspress, og målet med oppgaven var å finne ut hvilke typer lastebiler som bør allokere til et sett av Miniekspress sine ruter for å minimere samlede driftskostnader. Det sees på både bedriftsøkonomiske driftskostnader og miljøkostnader for hver lastebiltype. Ruteallokering som minimerer kostnader, undersøkes med og uten miljøkostnader. Faktorer som betyr mest for hvordan ruteallokeringen blir identifiseres. I tillegg sees det på hvordan den strategiske tilpasningen til Miniekspress påvirkes av lastebilalternativene.

Oppgaven baserer seg hovedsakelig på data om rutene fra Miniekspress, miljøkostnader fra Løvold Rødseth, et al. (2019) og estimerte driftskostnader fra Grønland (2018). Kostnadsmodellen ble også laget med grunnlag i Grønland (2018) sin kostnadsmodell, hvor vi blant annet la til miljøkostnader. Basert på kostnadsmodellen lagde vi en optimaliseringsmodell i Excel, som ga ruteallokeringen som minimerer kostnadene. Vi gjorde også sensitivitetsanalyse og simulering, for å se hvilke faktorer som betydde mest.

Kostnadsmodellen viste at biogasslastebilene blir billigst for de fleste rutene, dersom miljøkostnaden er inkludert. Dersom miljøkostnader og dagens CO₂-avgift er tatt bort, vil derimot diesellastebilen være billigst for de fleste rutene.

Vi testet optimaliseringsmodellen for tre kjøretøyparker, hvor «Blandet kjøretøypark» ble billigst dersom miljøkostnaden er med. Euro VI kjøretøyparken blir billigst uten miljøkostnader og CO₂-avgift, men desidert dyrest dersom miljøkostnaden stiger frem til 2030.

Rekkevidde for elektrisk lastebil og hydrogenpris var faktorer som hadde stor påvirkning på begge modellene. For elektrisk lastebil er det spesielt viktig at denne plasseres på en rute som har kort daglig kjøredistanse.

Forord

Denne oppgaven markerer avslutningen på masterstudiet i Økonomi og administrasjon på Norges miljø- og biovitenskaplige universitet (NMBU). Det har vært et spennende arbeid, og vi vil gi en stor takk til vår veileder Ståle Navrud ved NMBU for god veiledning og støtte. Vi

har i tillegg hatt god hjelp av Jens Bengtsson fra NMBU, med logistikkteori og optimalisering. Det setter vi stor pris på. Vi vil også takke Miniekspress Thermo AS, og spesielt Kai og Thomas for deres vilje til å dele med data oss og gitt oss en innføring i hvordan Miniekspress opererer.

Vi takker også Transportøkonomisk Institutt som har gitt oss nyttige råd og veiledning.

Oppgaven har vært et krevende arbeid, men vi har hatt mange gode støttespillere rundt oss.

Tusen takk til dere, og en spesiell takk de som har hjulpet med å lese gjennom oppgaven.

Til slutt takker vi hverandre for inspirerende og godt samarbeid!

Ås, 31.mai 2021

Fride Olin Myrvang

Øyvind Lothe Brunstad

Innhold

Sammendrag	1
Forord	2
Tabelliste	5
Figurliste	6
1. Innledning	9
1.2 Problemstilling	11
1.3 Tidligere vitenskapelige studier	14
2. Samfunnsøkonomiske kostnader	16
2.1 Bedriftsøkonomiske driftskostnader og relevant logistikk.....	16
2.1.1 Kostnadsmodellen til Grønland	16
2.1.2 Strategisk tilpasning	17
2.1.3 Vareavhengige kostnader.....	19
2.2 Miljøkostnader	22
2.2.1 Global miljøpåvirkning.....	23
2.2.2 Lokal miljøpåvirkning.....	24
2.2.3 Drivstoff	25
3 Data	29
3.1 Datagrunnlag og forbehandling	29
3.1.1 Opplysninger og data fra miniekspress	29
3.1.2 Ruter	29
3.1.3 Merverdiavgift	30
3.1.4 Estimerte driftskostnader	30
3.1.5 Estimerte drivstoffkostnader.....	32
3.1.6 Områdetyper	34
3.1.7 Miljøkostnader	35
3.1.8 Konsumprisregulering	36
3.2 Forutsetninger	37
4. Metode	40
4.1 Kostnadsmodell	40
4.2 Lineære løsninger av oppgaveproblemer	43
4.3 Scenarier for kjøretøypark	48
4.4 Sensitivetsanalyse	49
4.4.1 Sensitivitet på CO ₂ -kostnader og lokale utslippskostnader	51
4.4.2 Sensitivitet på rekkevidden til elektrisk lastebil	51
4.4.3 Sensitivitet hydrogenpris.....	52

4.4.4 Øvrige sensitivitetstfaktorer	52
4.4.5 Simulering.....	52
5. Resultater og diskusjon	54
5.1 Resultater fra kostnadsmodellen	54
5.1.1 Endring av miljøkostnader.....	56
5.1.2 Ruter og områdetyper	58
5.2 Resultater fra optimaliseringsmodellen	60
5.2.1 Blandet kjøretøypark.....	61
5.2.2 Euro VI kjøretøypark.....	62
5.2.3 Klimanøytral kjøretøypark	63
5.2.4 Sammenligning av kjøretøyparkene.....	64
5.3 Viktige påvirkningsfaktorer	66
5.3.1 Biogass.....	66
5.3.2 Rekkevidde og hydrogen	67
5.3.3 Miljøkostnader	73
5.3.4 Sensitivitet i Blandet kjøretøypark	75
5.4 Simulering.....	78
5.5 Strategisk tilpasning	80
5.5.1 Logistikkostnader	80
5.5.2 En større fordel av grønn forsyningskjede enn tallene tilsier?	82
5.6 Modellens begrensinger.....	83
5.7 Videre forskning	87
6. Konklusjon	89
Bibliografi	92
Vedlegg A - Data	97
Vedlegg B - Resultater	101

Tabelliste

Tabell 2.1: Anbefalt karbonprisbane for kalkulasjonspriser i norske samfunnsøkonomiske analyser.	s.23
Tabell 3.1: Kilometer kjørt for hver rute, delt inn i de forskjellige områdetypene.	s.34 s.41
Tabell 4.1: Fremføringskostnader, herunder tidsavhengige, distanseavhengige og reiseavhengige kostnader.	
Tabell 4.2: Terminalkostnader, herunder lossekostnader og lastekostnader.	s.41
Tabell 4.3: Miljøkostnader.	s.42
Tabell 4.4: Forsinkelseskostnader, herunder WTA (willingness to accept).	s.42
Tabell 4.5: De tre scenarioene for kjøretøyparkene.	s.48
Tabell 4.6: Prosentvis (%) endring i kostnader i kostnadsmodellen ved 20 prosent økning og reduksjon.	s.51 s.55
Tabell 5.1: Kostnadsoversikt i 2021-kroner for de forskjellige rutene og kjøretøyene, med miljøkostnader.	
Tabell 5.2: Kostnadsoversikt i 2021-kroner for de forskjellige rutene og kjøretøyene, uten miljøkostnader.	s.55
Tabell 5.3: Miljøkostnader ved å velge de forskjellige kjøretøysalternativene for de syv rutene.	s.57
Tabell 5.4: Kjøretøysvalg inkludert kostnader for endringer i miljøkostnadene fra 2021 til 2030 med de tre scenarioene median, høy og lav for CO2-kostnadene med Blandet kjøretøypark.	s.61
Tabell 5.5: Sensitivitetsanalyse for endringer i miljøkostnaden fra 2021 til 2030, med Euro VI kjøretøypark.	s.63
Tabell 5.6: Sensitivitetsanalyse for en kjøretøypark med bare klimanøytrale kjøretøy, gitt en realprisjustering frem mot 2030 av miljøkostnadene.	s.64
Tabell 5.7: Forsinkelse i timer for elektriske lastebiler på hver rute.	s.71
Tabell 5.8: Sensitivitetsanalyse for endringer i rekkevidden til elektriske lastebiler fra 150 til 300 kilometer.	s.75
Tabell 5.9: Sensitivitet for endringer av hydrogenprisen mellom 10 og 130 kroner per kilo inkludert MVA.	s.77
Tabell 5.10: Simulering for elektrisk lastebil med rekkevidde.	s.78
Tabell 5.11: Simulering for hydrogenlastebil med hydrogenpris	s.78 s.97
Tabell 1A: Oversikt over kjøreruter og hvilke lastebiler som danner utgangspunkt for hver av rutene.	
Tabell 2A: Tidsavhengige og distanseavhengige kostnader (fremføringskostnader) for hver bilmodell og kjøretøytypene for biogass-, el og hydrogen-lastebil.	s.97
Tabell 3A: Kjøredistanser per dag etter ruter, oppgitt i kilometer.	s.98
Tabell 4A: Kjøretid for hver uke, for hver av rutene.	s.98
Tabell 5A: Fraktvekt for hver rute, gitt at det benyttes 90 prosent (%) fyllingsgrad	s.98
Tabell 6A: Laste og lossekostnader (terminalkostnader) for de forskjellige rutene.	s.98
Tabell 7A: Forsinkelseskostnader per time, basert på fraktvekten til hver av rutene i tabell 5A.	s.99
Tabell 8A: Bompengekostnader (fremføringskostnad, herunder reiseavhengig kostnad).	s.99

Tabell 9A: Miljøkostnader per kilometer for alle kjøretøytyper.	s.99
Tabell 10A: Drivstofforbruk per kilometer (km) etter kjøretøytype.	s.100
	s.101
Tabell 1B: Kostnadsoversikt for de forskjellige rutene og kjøretøytypene, med medianestimatet for CO2-kostnader.	
Tabell 2B: Kostnadsoversikt for de forskjellige rutene og kjøretøytypene, med lavt estimat for CO2-kostnader.	s.103
Tabell 3B: Kostnadsoversikt for de forskjellige rutene og kjøretøytypene, med høyt estimat for CO2-kostnader.	s.104
Tabell 4B: Kjøretøyallokering, ved inkludering av miljøkostnader fra 2021 til 2030 med de tre scenarioene median, høy og lav for CO2-kostnader.	s.110
Tabell 5B: Sensitivitetsanalyse for endringer i rekkevidden til elektriske lastebiler fra 150 til 310 kilometer.	s.111
Tabell 6B: Sensitivitetsanalyse for endringer av hydrogenprisen mellom 10 og 130 kroner per kilo	s.111
Tabell 7B: Sensitivitetsanalyse for endring av biogasspris ved 20 prosent (%) økning i biogasspris.	s.112
Tabell 8B: Sensitivitetsanalyse for endring av dieselpriisen.	s.112
Tabell 9B: Allokeringen ved en endring av lynlading-prisen per kWh	s.113
Tabell 10B: Allokering ved endring av prisen for vanlig lading (på terminalen til Miniexpress), oppgitt i kroner per kWh	s.113

Figurliste

Figur 2.1: Karbonprisbane fra IPCC (Løvold Rødseth, et al., 2019).	s.24
	s.56
Figur 5.1: Kostnadsutvikling i 2021-kroner for rute 1 ved realprisjustering for lokale utslippskostnader og økning av CO2-kostnaden ved medianestimatet fra 2021 til 2030.	
Figur 5.2: Kostnadsutvikling for rute 1 med forskjellige rekkevidder for elektriske lastebiler og hydrogenpris.	s.68
Figur 5.3: Kostnadsutvikling for rute 1 med forskjellige rekkevidder for elektriske lastebiler og hydrogenpris.	s.69
Figur 5.4: Kostnadsutvikling i kroner for rute 2 med variasjon i rekkevidde for elektrisk lastebil (El) fra 150 til 300 kilometer og variasjon i hydrogenpris (Hy) fra 160 til 10 kroner inkludert MVA.	s.73
Figur 5.5: Kostnadsutvikling for rute 7 med variasjon i rekkevidde for elektrisk lastebil (El) fra 150 til 300 kilometer og variasjon i hydrogenpris (Hy) fra 160 til 10 kroner inkludert MVA, uten miljøkostnader.	s.74
	s.105
Figur 1B: Kostnadsutvikling i 2021-kroner for rute 2 ved realprisjustering for lokale utslippskostnader og økning av CO2-kostnaden ved medianestimatet fra 2021 til 2030.	
Figur 2B: Kostnadsutvikling i 2021-kroner for rute 3 ved realprisjustering for lokale utslippskostnader og økning av CO2-kostnaden ved medianestimatet fra 2021 til 2030.	s.105
Figur 3B: Kostnadsutvikling i 2021-kroner for rute 4 ved realprisjustering for lokale utslippskostnader og økning av CO2-kostnaden ved medianestimatet fra 2021 til 2030.	s.106
Figur 4B: Kostnadsutvikling i 2021-kroner for rute 5 ved realprisjustering for lokale utslippskostnader og økning av CO2-kostnaden ved medianestimatet fra 2021 til 2030.	s.106

Figur 5B: Kostnadsutvikling i 2021-kroner for rute 6 ved realprisjustering for lokale utslippskostnader og økning av CO ₂ -kostnaden ved medianestimatet fra 2021 til 2030.	s.107
Figur 6B: Kostnadsutvikling i 2021-kroner for rute 7 ved realprisjustering for lokale utslippskostnader og økning av CO ₂ -kostnaden ved medianestimatet fra 2021 til 2030.	s.107
Figur 7B: Kostnadsutvikling i norske kroner for rute 3 med variasjon i rekkevidde fra 150 til 300 kilometer for elektrisk lastebil (EL) og variasjon i hydrogenpris (Hy) fra 160 til 10 NOK inkludert MVA.	s.108
Figur 8B: Kostnadsutvikling i norske kroner for rute 4 med variasjon i rekkevidde fra 150 til 300 kilometer for elektrisk lastebil (EL) og variasjon i hydrogenpris (Hy) fra 160 til 10 NOK inkludert MVA.	s.108
Figur 9B: Kostnadsutvikling i norske kroner for rute 5 med variasjon i rekkevidde fra 150 til 300 kilometer for elektrisk lastebil (EL) og variasjon i hydrogenpris (Hy) fra 160 til 10 NOK inkludert MVA.	s.109
Figur 10B: Kostnadsutvikling i norske kroner for rute 6 med variasjon i rekkevidde fra 150 til 300 kilometer for elektrisk lastebil (EL) og variasjon i hydrogenpris (Hy) fra 160 til 10 NOK inkludert MVA.	s.109
Figur 11B: Kostnadsutvikling i norske kroner for rute 7 med variasjon i rekkevidde fra 150 til 300 kilometer for elektrisk lastebil (EL) og variasjon i hydrogenpris (Hy) fra 160 til 10 NOK inkludert MVA.	s.110

Ordforklaringer

CO₂e: CO₂-ekvivalenter. En enhet som brukes for å måle potensialet til gassen som en klimagass. Ett tonn CO₂e har like stor effekt på klimaet som ett tonn CO₂ (Løvold Rødseth, et al., 2019).

Nullutslippskjøretøy: Kjøretøy som ikke slipper ut klimagasser eller gasser som gir lokale skadevirkninger. Eksempler på dette er hydrogen og elektriske kjøretøy.

Klimanøytrale kjøretøy: Kjøretøy som ikke bidrar til netto klimagassutslipp. Eksempler på dette i oppgaven er biogass-, elektriske- og hydrogenkjøretøy.

Termotransport: Transport av temperaturregulerte varer.

Terminalklasse 2: En gjennomsnittlig terminal, som oppgitt i Grønland (2018).

MVA: Merverdiavgift.

EL/ el: Elektrisk lastebil.

Fyllingsgrad: Fyllingsgrad målt i vekt og indikerer vekten av varer som fraktes, som andel av total tillatt fraktvekt av varer.

Euro VI: En forbrenningsmotor for lastebiltypene, med utslipp per kilometer oppgitt i Løvold Rødseth, et al. (2019). Brukes av diesel- og biogasslastebilene i denne oppgaven.

Fraktvekt: Vekten av varer som fraktes.

kWh: Kilowatttime, enhet for strøm.

Servicegrad: Andel av etterspørselen fra kunden som blir møtt med alle vareforsendelser. En lav servicegrad betyr at få av syklusene greier å levere til 100 prosent av etterspørselen. Det kan bety at man noen ganger går tom for varer på lager, før neste vareleveranse kommer og ikke greier å levere til all etterspørselen (Chopra, 2019).

Rekkevidde: I denne oppgaven er rekkevidde hvor langt en elektrisk lastebil kan kjøre, uten å måtte lade.

Kontinuerlig overvåking: Innebærer at lageretstatus overvåkes hele tiden (Chopra, 2019).

1. Innledning

Transport er for mange det mest synlige leddet i forsyningskjeden, og derfor ofte forbrukerens fokus når de setter krav til en mer miljøvennlig forsyningskjede (Fries, et al., 2010). Transport av varer står for omtrent 14 prosent av CO₂-utslippet i EU, i tillegg til at det er en hovedkilde for utslipp av NO_x, SO₂ og svevestøv (Dekker, et al., 2012).

I en studie fra Quariguasi Frota Neto, et al. (2008) beskrives det at både konsumenter og regelverket nå setter krav til at forsyningskjeder skal bli mer miljøvennlige. Ved analyse av forsyningskjeder er det derfor ikke tilstrekkelig å finne den laveste kostnaden, men også balansere den med miljøkostnaden. For å minimere både kostnader og miljømessig avtrykk i en forsyningskjede, benytter studien optimalisering. Aktiviteter som påvirker finansielle og miljømessige kostnader er ifølge studien for eksempel transport, produksjon, bruk av produktet, testing og håndtering av ferdigbrukte produkter. Løsningen på dette blir ofte et kompromiss mellom den laveste kostnaden og minst mulig miljøpåvirkning. Enkelte bedrifter som det amerikanske teknologiselskapet IBM har likevel greid å implementere løsninger som sparer både penger og miljøet (Quariguasi Frota Neto, et al., 2008).

Samferdselsdepartementet (2021) lager Nasjonal Transportplan (NTP) som presenterer regjeringens transportpolitikk. Sist plan ble fremlagt i 2021 og gjelder for 2022 til 2033. Noen av målene som ble satt her er at innen 2030 så skal nye tyngre varebiler og 50 prosent av nye lastebiler være nullutslippskjøretøy. For de store byene er det også satt som mål at varedistribusjonen skal være tilnærmet nullutslipp. Det utredes om det skal opprettes nullutslippssoner i store byer som Oslo, hvor det skal det være forbudt med kjøretøy som benytter fossilt drivstoff (Det Kongelige Samferdselsdepartement, 2021, p. 76).

Miljødirektoratet (2020) har på bestilling fra regjeringen laget rapporten «Klimakur 2030» som viser hvordan Norge skal kutte halvparten av de ikke-kvotepliktige utslippene innen 2030. I rapporten er utslippskutt i veitransport sentralt, hvor 11,8 millioner tonn CO₂e av de 30 millionene tonn CO₂e som skal kuttes kommer fra veitransport. Dette skal skje fra 2021 og frem til 2030, og noen av tiltakene som blir trukket frem som viktige her er effektivisering og bedre logistikkplanlegging, i tillegg til å elektrifisere bilparken (Miljødirektoratet, 2020).

I oppgaven ønsker vi å finne ut hvordan selskaper kan redusere sine utslipp gjennom bruk av forskjellige lastebiltyper med forskjellig fremdriftsteknologi. NTP setter mål om at flere nullutslippskjøretøy, som hydrogen- og elektriske-lastebiler, skal på veiene. Vi velger også å inkludere biogasslastebiler i oppgaven vår. Biogasslastebiler blir regnet som klimanøytrale. Nullutslippskjøretøyene elektrisk- og hydrogen-lastebiler er også klimanøytrale. I NTP blir også å erstatte dieselkjøretøy med biogasskjøretøy omtalt som et virkemiddel for å få ned klimagassutslippene i Norge, særlig på kort sikt (Det Kongelige Samferdselsdepartement, 2021). Oppgaven ser altså på klimanøytrale kjøretøy, nullutslippskjøretøy og fossile kjøretøy. Disse fremdriftsteknologiene for lastebiler, vil også representere forskjellige kostnader knyttet til bruk.

Selv om reduksjon av utslipp er viktig i denne oppgaven, må vi samtidig påse at klimanøytrale kjøretøy er økonomisk bærekraftig å benytte for transportsektoren. De kan også ha andre begrensinger som rekkevidde og tilgjengelighet. Økonomiske kostnader og andre begrensinger må vurderes opp mot miljøkostnader ved forskjellige fremkomstteknologier.

Caseselskap

Oppgaven tar for seg en case-studie av og i samarbeid med selskapet Miniekspress Transport AS. Dette selskapet er et transportselskap som frakter forskjellige varer på anbud, blant annet kjølevarer (Nor-Log Gruppen, 2021). Miniekspress tilbyr komplette løsninger for transport og tredjepartslogistikk på varer som krever temperaturregulering (Miniekspress , 2021).

Miniekspress Transport AS, heretter benevnt som Miniekspress, er underlagt Nor-log Gruppen og består av fem selskaper som til sammen hadde 150 ansatte, 80 lastebiler og 90 hengere og omsatte i 2018 for 305 millioner norske kroner. Selskapene holder til i flere norske tettsteder og byer. Vi ser på terminalen i Stokke, som har både kjøle-, fryse og varmelager, hvor forskjellige varer blir distribuert ut til aktører innen næringsmiddel- og dagligvarebransjen på Østlandet. Hovedsakelig er det bedriftskunder Miniekspress frakter varer for. Bedriftskundene selger varer videre til forbrukermarkedet, for eksempel dagligvarebutikkene. Vi ser på bedriftskundene til Miniekspress, når vi omtaler kundene deres. Miniekspress fokuserer på å levere punktlig, forutsigbare og raske leveranser (Nor-Log Gruppen, 2021). Over epost-utveksling med Miniekspress har vi også fått vite at de fleste leveransene går om natten fra produsent til mottager. En del av leveransene er også ekspressleveranser som leveres til kunder

direkte samme dag. Miniekspress har også sagt at deres kunder er opptatt av både miljøaspekter, men også av konkurransedyktig pris.

Det er fire aktører som er sentrale i transportprosessen: avsenderen, de som transporterer varen, eier og driftsansvarlig av infrastrukturen og de som bestemmer transport- og infrastrukturpolitikken (Chopra & Meindl, 2016).

Miniekspress sin rolle i forsyningskjeden er at de transporterer produktene. De må ta avgjørelser angående hvilke biler de skal investere i og hvordan bruke disse på en måte som maksimerer avkastning. Miniekspress velger å samle varer fra flere leverandører som de kjører ut til kundene. Rutene er også lagt opp slik at kundene som ligger i samme område får leveranse på samme tur. Dette kan spare både kostnader og miljø (Chopra & Meindl, 2016, p. 413).

1.2 Problemstilling

Ut fra terminalen i Stokke har Miniekspress forskjellige ruter. Oppgaven konsentrerer seg om de som går til det sentrale Østlandet, og tar ikke for seg langdistanseruter, som Miniekspress også driver med. Miniekspress benytter i dag dieslbiler som er euro VI-klassifisert til sin transport (Miniekspress, 2021). Samtidig ønsker de å redusere miljøavtrykket av sin virksomhet ytterligere. I den forbindelse har de i slutten av 2020 kjøpt inn biler som går på biogass.

Med dagens teknologi har Miniekspress vurdert at biogass-lastebiler møter deres behov best. I fremtiden kan det også bli aktuelt å vurdere alternativer for elektriske og hydrogendrevne lastebiler, for å møte målene som ble satt i NTP om flere hydrogen- og elektriske lastebiler. Vi ønsker å undersøke hvilke ruter disse kjøretøyene er aktuelle for, og under hvilke forutsetninger. Derfor vil vi inkludere biogass-, elektriske- og hydrogendrevne lastebiler i oppgaven. Slik kan vi vurdere miljøkostnader og forskjellige faktorer blant flere lastebiltyper. Dette er også sentralt for å se på muligheten for å nå målet om at 50 prosent av lastebilene skal være nullutslipp innen 2030.

I utgangspunktet ser oppgaven på en kjøretøypark med tre diesel-lastebiler; to biogass-lastebiler, en elektrisk lastebil og en hydrogen-lastebil. I kjøretøyparken vår legger vi grunnlag for at omtrent 30 prosent av kjøretøyparken er nullutslippslastebiler, og nesten 60 prosent er klimanøytrale. Målet om at 50 prosent av de nye lastebilene skal være nullutslipp skal først nås innen 2030 (Det Kongelige Samferdselsdepartement, 2021). Denne kjøretøyparken kan være

en vei mot målet om nullutslipp, ettersom bilparken inneholder flere nullutslippskjøretøy. I oppgaven er det likevel tatt med flere scenarier for kjøretøypark, der vi ser på et scenario med en større grad av nullutslippskjøretøy og ett scenario hvor det kun blir sett på fossile- og biogass-kjøretøy.

I oppgaven ser vi på syv utvalgte ruter fra Miniekspress, og for at alle rutene skal tildeles ett kjøretøy har vi alltid syv biler tilgjengelige. For kjøretøyparkene som inkluderes i oppgaven ble det sett på optimal ruteallokering for minimering kostnader. Den optimale ruteallokeringen vil være basert på kostnadene ved hver kombinasjon av kjøretøy og rute.

I oppgaven blir det satt opp en optimaliseringsmodell og en kostnadsmodell. Optimaliseringsmodellen er basert på lineær programmering (Hillier & Hillier, 2014, p. 99). Målet er å undersøke hvordan forskjellige kjøretøyparker med forskjellige fremkomstteknologier kan påvirke valget av kjøretøy for Miniekspress. Kostnadsmodellen beregner kostnaden forbundet ved forskjellige kombinasjoner av kjøretøy på ruter. Kostnadsmodellen fungerer som input til optimaliseringsmodellen, og den skiller mellom bedriftsøkonomiske driftskostnader som er fratrukket CO₂-avgift på diesel – og miljøkostnader. I oppgaven benyttes også kostnadsmodellen til analyser og til å underbygge valgene som gjøres av optimaliseringsmodellen.

I oppgaven benyttes det sensitivitetsanalyser og simulering. Oppgaven ser på sensitivitet i økning og reduksjon av miljøkostnader (Løvold Rødseth, et al., 2019, pp. 17, 283). Samtidig sees det på sensitivitet i faktorene dieselpris, biogasspris, hydrogenpris, rekkevidde for elektriske lastebiler, kostnad for lynlading og kostnad hjemmelading for elektriske lastebiler. For de viktigste av disse seks faktorene blir det også foretatt en simulering.

Problemstilling:

Hvilke kjøretøy bør Miniekspress allokere til sine transportruter for å minimere sine bedriftsøkonomiske driftskostnader og miljøkostnader?

Forskningsspørsmål:

- 1) Hvilken ruteallokering vil minimere de bedriftsøkonomiske driftskostnadene uten CO₂-avgift?
- 2) Hvilken ruteallokering vil minimere de samfunnsøkonomiske kostnadene i form av bedriftsøkonomiske driftskostnader og miljøkostnader?
- 3) Hvordan påvirker de viktigste faktorene ruteallokering og kostnader? En sensitivitetsanalyse
- 4) Hvilken betydning vil forskjellige lastebiltyper ha for den strategiske tilpasningen?

Avgrensninger

- Produktutviklingen og produksjon utvikler seg raskt og estimerer av innkjøpskostnader vil bli svært usikre. Den raske og usikre teknologiutviklingen gjør at vi fjerner investeringskostnader ved innkjøp av biler fra modellen vår.
- Kundenes (til Miniekspress) logistikkostnader forbundet med valg av type kjøretøy er ikke tatt med i modellen, da vi ikke har data om ordrene som er utført. De vil likevel påvirke Miniekspress og hvilke tjenester de kan tilby kundene sine. Vi har derfor valgt å ta med en drøfting av logistikkostnadene i diskusjonsdelen.
- I oppgaven avgrensner vi oss til å se på kontinuerlig overvåking av varelager, når vi diskuterer kundene til Miniekspress sitt lager.
- Siden fokuset i denne oppgaven vil være på transportalternativer for Miniekspress, tar vi ikke hensyn til hvor utbyggingen av fyllestasjoner for biogass og hydrogen og ladestasjoner for elektriske lastebiler skjer. Vi antar at det blir bygget nok fyllestasjoner og ladestasjoner der vi trenger dem.
- Vi har ikke sett på kjøleløsningene til Miniekspress
- Veibruksavgiften blir holdt konstant i modellen vår, gjennom alle årene vi regner. Det er gjort for å isolere effekten av CO₂-kostnaden.
- Det finnes flere eksterne kostnader som vi ikke har tatt hensyn til i denne oppgaven. Dette er kostnader som støy, ulykker og kødannelser. Av de eksterne kostnadene ser vi bare på eksterne kostnader knyttet til luftutslipp. Å inkludere andre eksterne

skadekostnader ville ha krevd en betydelig utvidelse av vår modell, noe det ikke er rom for i vår tidsavgrensede oppgave.

1.3 Tidligere vitenskapelige studier

I denne delen vil vi presentere noen av studiene som er gjort om utslippskutt i transportsektoren.

En studie fra 2018 (Li, et al.) fokuserte på miljøkostnader som angikk utskifting av busser. Studien så blant annet på et case i Hong Kong, der det ble fokusert på miljøkostnader, kjøpskostnad og distanseavhengige kostnader ved anskaffelse og utskifting av henholdsvis CNG-busser, elektriske busser, diesel-busser og hybrid-busser. CNG-busser brukte komprimert metangass (CNG) som drivstoff. De distanseavhengige kostnadene dreide seg om driftskostnader per kilometer for hvert kjøretøy. Miljøkostnadene påløpte også som en distanseavhengig kostnad og inkluderte NO_x, svevestøv, CO₂ og CO. I studien ble det inkludert CO₂-kostnader for elektriske busser, fordi de ble ladet med ikke-fornybar strøm. CO₂-kostnad var den eneste miljøkostnaden som var inkludert for elektriske busser. For de andre busstypene var det inkludert CO₂-kostnader, men i tillegg også kostnader for NO_x, svevestøv og CO. For elektriske busser var rekkevidden satt til 180 kilometer og ladetiden til 30 minutter. Resultatene fra caset viste at dersom det ikke ble tatt hensyn til en øvre grense for investeringsbeløp for kjøretøyene i studien, var elektriske busser det mest kostnadseffektive ved kjøredistanser på 193 kilometer eller mer daglig. CNG-busser var førstevalget for kjøredistanser mellom 11 og 193 kilometer, mens diesel-busser var førstevalget for daglige kjøredistanser under 11 km. Dette er forklart med at miljøkostnadene og de distanseavhengige kostnadene kompenserte for en høyere innkjøpskostnad for elektriske- og CNG-busser. Disse var i sum lavere for elektriske og CNG-busser enn for de andre busstypene. Dersom studien så bort fra miljøkostnader for busstypene i Hong Kong caset, viste det seg at daglig kjøredistanse økte ytterligere før elektriske- og CNG-busser ble lønnsomme (Li, et al., 2018). Videre har også andre vært inne på at kø i ladesystemer kan ha innvirkning på ventetiden og totale kostnader, og at forskjellige tider av døgnet også er med på å påvirke dette (Keskin, et al., 2019).

Det finnes lastebiler som er basert på forskjellig teknologi for å få ned klimagassutslippene. To av disse er elektriske lastebiler og biogass-lastebiler. I Sverige ble det gjort en studie av Ammenberg, et al. (2017) som undersøkte etterspørselen etter biogassbiler. Funnene viser at etterspørselen hadde gått noe ned for biogasskjøretøy etter at satsningen på elektriske kjøretøy hadde gått opp. Dette indikerte at fokuset på elektrifiseringen av bilparken hadde gått ut over

hvor mange biogassbiler som ble brukt. Det er en risiko for at biogassbilene blir erstattet av elektriske kjøretøy, særlig for kjøring inne i byene hvor støy og lokal luftforurensing er viktigere. Det kreves sannsynligvis flere forskjellige teknologier til forskjellig bruk for å få ned klimagassutslippene. Dermed må både markedet for biogasskjøretøy og for elektriske kjøretøy vokse. Biogassbiler vil spesielt være viktig for langdistanse- og tungtransport, og dersom biogassmarkedet stopper opp kan disse sektorene lide (Ammenberg, et al., 2017).

2. Samfunnsøkonomiske kostnader

2.1 Bedriftsøkonomiske driftskostnader og relevant logistikk

Det finnes flere måter å designe sine ruter på, og Miniekspress har valgt å kjøre melkeruter. Dette innebærer at de kombinerer flere sendinger til forskjellige butikker, slik at bilen kan fylles opp og få høyere fyllingsgrad. Dette reduserer transportkostnader hvor det kreves mange små og hyppige leveranser til kunder som ligger relativt nær hverandre (Chopra & Meindl, 2016, p. 421).

I beskrivelsen av de bedriftsøkonomiske driftskostnadene gjør vi et skille mellom kostnader som knytter seg direkte til transporten ved bruk av kjøretøyet og kostnader som knytter seg mer indirekte til transportutførelsen. Vi starter med å presentere kostnadsmodellen til Grønland (2018), før vi går dypere inn i strategisk tilpasning, logistikkteori og vurderer kostnader som forekommer ved forsinkelse.

2.1.1 Kostnadsmodellen til Grønland

Oppgaven baserer seg på kostnadsmodellen i Grønland (2018, p. 6) for biltransport. Ettersom at modellen også gjelder for tunge distribusjonsbiler av containere og biler tiltenkt for termotransport, vil denne kostnadsmodellen være hensiktsmessig å benytte. Det vi inkluderer herfra er kostnader for selve transportmiddelet og for lasting og lossing. Modellen er utviklet med grunnlag i gjennomsnittstall av forbruket til et utvalg av biler, som alle er dieseldrevne (Grønland, 2018, p. 6).

Det er skilt mellom tidskostnader og distansekostnader. Tidskostnader øker proporsjonalt med tiden som transportmiddelet er i bruk, og distansekostnader løper proporsjonalt med tilbakelagt distanse. Begge er uavhengig av hverandre. For begge typer kostnader har Grønland funnet den relative fordelingen av kostnadskomponenter (for eksempel andelen av kostnader til lønn eller vedlikehold). Når det kommer til terminalkostnadene er disse avhengig av blant annet vekt (Grønland, 2018, p. 7).

I boken Logistikkledelse beskriver Grønland (2017, p. 130) også om reiseavhengige kostnader. For Miniekspress vil dette dreie seg om bompenger. I boken benyttes begrepet fremføringskostnader for kostnader som er reiseavhengige. I tillegg er også distansekostnader og tidskostnader en del av fremføringskostnadene til Grønland. Med bakgrunn i dette, er det også relevant å inkludere bompengekostnader for Miniekspress og vi kategoriserer de

distanseavhengige, tidsavhengige og bompengekostnader (reiseavhengig kostnad) som fremføringskostnader.

2.1.2 Strategisk tilpasning

En viktig avgjørelse er hvordan transportnettverket skal designes, noe som er avgjørende for effektiviteten for et transportselskap. Planlegging av ruter og hvordan de skal se ut gjøres først, og det må passe til den overordnede strategien til selskapet. Dette skal sørge for at forsyningskjeden kan levere til det nivået av fleksibilitet og kostnadseffektivitet som selskapets strategi krever (Chopra & Meindl, 2016, p. 421).

Et selskap som ønsker å oppnå strategisk tilpasning, må påse at kundenes behov blir dekket av forsyningskjedens egenskaper. Chopra (2019) utdyper tre steg som han mener er nødvendig for å oppnå strategisk tilpasning. Det første steget er å forstå kunden og hvilke usikkerheter som ligger i forsyningskjeden. Dette dreier seg om at kundesegmentets behov må avdekkes av selskapet for å forstå kunden. Her skiller man mellom usikkerhet som kommer fra etterspørsel og den resulterende usikkerheten i etterspørselen. Den resulterende usikkerheten i etterspørselen er knyttet til hvordan attributtene til produktet er bygget opp. Chopra viser også til hva Fisher (1997) har sagt om resulterende usikkerhet i etterspørselen, som for eksempel mindre konkurranse, at produktene er ganske nye og har høye marginer. Fisher påpeker samtidig at varer som blir fort utsolgt eller blir liggende usolgt på lager, kan være et resultat av resulterende usikkerhet i etterspørselen. Ifølge Chopra, peker også Lee (2002) på at usikkerheten knyttet til forsyningskjedens egenskaper, er viktig å vurdere. Dette dreier seg om usikkerhet i vareforsyningen, ved at forsyningskjeden har vanskeligheter med å levere varer. Hvilken fase produktet er i livssyklusen er også med på å påvirke usikkerhet i vareforsyningen. Usikkerhet i forsyningen er størst hos nye produkter, men lavere ved mer modne produkter, det vil si produkter som har vært lengre i markedet. Dette begrunnes med at nye produkter fremdeles utvikler seg innen design og produksjonsprosesser (Chopra, 2019, pp. 36-41).

Det andre steget er å forstå kapasiteten i forsyningskjeden. To vesentlige begreper er responsivitet og produktivitet. Chopra (2019) kommer med en definisjon av forsyningskjedens responsivitet og forsyningskjedens produktivitet. I korte trekk handler responsivitet om å tilpasse forsyningskjeden til en større grad av usikkerhet. I denne oppgaven snakker vi om responsivitet i forbindelse med korte ledetider ved at forsyningsusikkerhet og servicegrad blir håndtert. Chopra utdyper at dette er viktige momenter for å oppnå responsivitet i

forsyningskjeden. Produktivitet handler om å tilby den laveste prisen gjennom forsyningskjeden. Imidlertid kan dette blant annet resultere i lengre ledetider og mer forsyningsusikkerhet. Ordre som ikke kommer i tide eller som ikke leverer alt som planlagt, kan beskrives som forsyningsusikkerhet. Desto mer det investeres i responsivitet, desto lavere blir produktiviteten i forsyningskjeden. Årsaken til dette er at responsivitet øker kostnaden. Derfor blir det et kompromiss som må vurderes mellom responsivitet og produktivitet. Noen forsyningskjeder fokuserer på lavest kostnad, mens andre fokuserer på responsivitet (Chopra, 2019, p. 40).

I det tredje steget må det påses at resulterende usikkerhet i etterspørselen møtes med en riktig grad av responsivitet. Ved lav resulterende usikkerhet i etterspørselen, blir målet å satse på en produktiv forsyningskjede. I motsatt tilfelle – altså ved mye resulterende usikkerhet i etterspørselen - blir målet å satse på responsivitet for forsyningskjeden. Det er også mulig å ha forskjellig resulterende usikkerhet i etterspørsel fra forskjellige kunder. Da kan man tilpasse forsyningskjeden. Dette kan gjøres ved å fokusere på responsivitet der man møter høy resulterende usikkerhet i etterspørsel. I motsatt tilfelle, når det er lav resulterende usikkerhet i etterspørsel, kan man fokusere på å være produktiv (Chopra, 2019, pp. 41, 44).

Miniekspress må ta strategiske valg om hvilke biler de skal investere i og hvordan disse skal brukes for å maksimere avkastingen. Produktivitet og responsivitet påvirkes i stor grad av transportvalg (Chopra & Meindl, 2016).

Betalingsvilje for en mer miljøvennlig forsyningskjede

Betalingsviljen for bærekraftige transportløsninger er høyest for varer som er høyt oppe i forsyningskjeden. Dermed vil betalingsviljen for bærekraftig transport av varer som er ferdig produsert og skal fraktes ut til butikkene være høyere. Produkter som er høyere oppe i forsyningskjeden vil også ha en høyere verdi, sammenlignet med råvarer. Dermed vil også transportkostnaden utgjøre en mindre verdi av totalkostnaden. Miniekspress leverer varer til utsalgssteder, og dette er varer som er høyt oppe i forsyningskjeden. Dette kan komme av at det ofte er forbrukeren som er interessert i å kjøpe bærekraftige varer (Fries, et al., 2010). Forbrukeren blir stadig mer bevisst på hvilke miljøavtrykk produktene de kjøper utgjør. Andelen forbrukere som setter krav til at produktene som de kjøper har en grønn forsyningskjede kommer også til å øke (DHL International GmbH, 2019).

2.1.3 Vareavhengige kostnader

Videre ser vi på sentrale kostnadselementer i logistikksammenheng, herunder kostnader som er uavhengig av kjøretøyet eller og som ikke påløper direkte for Miniekspress. I kostnadsmodellen til Grønland (2018) er enkelte kostnader vareavhengige. Disse blir delt opp i flere kategorier, og i denne oppgaven er lagerholdskostnader og tidskostnader relevant å diskutere. Lagerholdskostnader påløper ved at varer ligger på lager. Tidskostnader er tatt med i modellen, men er representert som betalingsvillighet for å unngå forsinkelser, istedenfor rene tidskostnader (Harkjerr Halse, et al., 2019, p. 45). For å sette kostnadene i sammenheng, kobles de opp mot teori. Felles for disse kostnadene er også at vi kun er interessert i den eventuelle økningen disse kostnadene representerer ved forskjellige lastebil-alternativer.

Lagerholdskostnader

Som nevnt innledningsvis, frakter Miniekspress varer til bedriftskunder som igjen selger videre til forbrukermarkedet. Dette gjør at valgene av kjøretøy for Miniekspress kan ha innvirkning på forsyningskjeden til deres kunder, som igjen leverer til forbrukermarkedet.

For å bestille inn varer, beskriver Chopra (2019) to metoder; kontinuerlig overvåking og periodisk overvåking. I denne oppgaven har vi avgrenset oss til å kun se på kontinuerlig overvåking, da vi antar at de fleste kundene til Miniekspress har muligheten til dette. Kontinuerlig overvåking innebærer at lageret overvåkes hele tiden og at man har en grense for når man bestiller varer, et bestillingspunkt (reorder point, ROP). ROP regnes ut ved å legge sammen etterspørselen i ledetiden representert ved D_L og sikkerhetslageret representert ved ss . For Miniekspress betyr kontinuerlig overvåking at kundene overvåker lagrene sine kontinuerlig. Etter hvert som lagernivåene til kundene synker til ROP, bestilles det en ny ordre. En formel kan beregne hva som er den økonomiske ordremengden for kunden. Formelen omtales med EOQ (Economic order quantity) og illustreres i ligning 1.1 nedenfor (Chopra, 2019, p. 284). Lagerholdskostnad per enhet er representert ved h , som en andel av enhetskostnaden C . Bokstaven D representerer etterspørsel, mens bokstaven S representerer ordrekostnad.

$$\text{"Optimal lot size, } Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{hC}} \text{"} \quad (\text{ligning 1.1})$$

Servicegrad (CSL) kan illustreres på følgende måte i ligning 1.2 (Chopra, 2019, p. 332). Servicegrad forteller oss hvor stor andel av etterspørselen fra kunden som blir møtt med alle vareforsendelsene. En lav servicegrad betyr derfor at få av syklusene greier å levere til 100 prosent av etterspørselen. Det kan bety at man noen ganger går tom for varer på lager, før neste vareleveranse kommer og ikke greier å levere til all etterspørselen.

$$"CSL = \text{Prob}(\text{demand during lead time} \leq \text{ROP})" \quad (\text{ligning 1.2})$$

Kundene til Miniekspress kan sikte seg inn på å ha en fast servicegrad som maksimerer deres profitt. I den optimale servicegraden, sees kostnaden ved å ha for få og kostnaden ved å ha for mange varer opp mot hverandre og man finner den servicegraden, som gitt dette vil maksimere profitten. Sikkerhetslageret kan beregnes for en gitt servicegrad. Videre vil standardavviket til ledetiden, ledetid, etterspørsel og standardavviket til etterspørselen ha innvirkning på sikkerhetslageret, dersom man ønsker å beholde den samme servicegraden (Chopra, 2019). I denne oppgaven begrenser vi oss til å se på standardavviket til ledetiden og ledetid, ettersom at valgene Miniekspress tar i forhold til kjøretøy, kan påvirke dette hos kundene til Miniekspress.

Ifølge Chopra (2019) er det mulig å anta en normalfordeling av etterspørselen i ledetiden. Man kan anta at D_L (etterspørselen i ledetiden) representerer snittverdien. Standardavviket til etterspørselen i ledetiden kan beskrives med σ_L . I ligning 1.3 (Chopra, 2019, p. 330) ser vi uttrykket for σ_L . Usikkerhet i ledetiden (standardavvik i ledetid) representert ved s_L , ledetiden representert ved L , etterspørselen representert ved D og usikkerhet i etterspørsel (standardavviket i etterspørselen) representert ved σ_D har betydning for σ_L . Vi ser fra ligning 1.3 at σ_L vil øke dersom det blir økt usikkerhet i ledetid og økt ledetid. Økt ledetid kan gi økt usikkerhet i etterspørsel, når etterspørselsusikkerheten aggregeres over en lengre ledetid. Dermed blir det mer usikkert for kundene til Miniekspress i hvilken grad de greier å møte etterspørselen til sine kunder i forbrukermarkedet. Økning av sikkerhetslager er derfor en måte for Miniekspress sine kunder å sikre tilgjengeligheten av varer til sine kunder i forbrukermarkedet. Utregning av sikkerhetslageret påvirkes av usikkerhet i ledetid og økt ledetid gjennom σ_L , slik det illustreres i ligning 1.4 (Chopra, 2019, p. 333). Da sikkerhetslageret avhenger av servicegraden, vil også ROP avhenge av servicegraden.

$$"... \sigma_L = \sqrt{L\sigma_D^2 + D^2s_L^2}" \quad (\text{ligning 1.3})$$

$$"ss = F_s^{-1}(CSL) * \sigma_L = F_s^{-1}(CSL) * \sqrt{L}\sigma_D = \text{NORMSINV}(CSL) * \sqrt{L}\sigma_D" \quad (\text{ligning 1.4})$$

Ved økt ledetid og ledetidsusikkerhet kan også ROP øke for kundene til Miniexpress. Dette kommer av at etterspørselen i ledetiden og sikkerhetslageret øker for kundene til Miniexpress. Bestilling av nye ordre vil da skje ved en høyere ROP. Samlet sett kan dette gjøre at kundene til Miniexpress får høyere gjennomsnittlig lagerstørrelse. Økt lager kan føre til økte lagerholdskostnader for kundene til Miniexpress (Chopra, 2019).

Forsinkelseskostnad

Sentralt i vurderingen av usikkerhet i ledetiden og økt ledetid er også betalingsvillighet. Det ble gjort en studie av Harkjerr Hasle, et al. (2019) som hadde som mål å avdekke bedrifters verdsetting av hvor pålitelig og rask transporten av varer var. Studien ble utført på norske bedrifter. I denne forbindelse spurte de både aktører som sender og bestiller gods, med en hovedvekt på førstnevnte. Resultatet er relevant for oss dersom valget av teknologi påvirker hvor pålitelig og rask transporten av varer er. Ved valg av elektrisk lastebil kan det bli forsinkelser dersom lastebilen må stoppe for å lade. Vi bruker derfor willingness to accept (WTA), som er en verdi som angir hvor mye billigere en løsning må være, dersom den tar lengre tid (Harkjerr Halse, et al., 2019, p. 45). I denne oppgaven vil vi videre referere til WTA som forsinkelseskostnad. Denne forsinkelseskostnaden er tidsavhengig, og vil øke til lengre forsinkelsen er. I kostnadsmodellen, som beskrevet i kapittel 4.1, legges denne kun til ved forsinkelser på grunn av ladetid.

Respondentene i studien til Harkjerr Hasle (2019) valgte mellom transportløsninger med forskjellig leveringstid og kostnad, i tillegg til faktorer som var relatert til usikkerhet til transporttid og sendings-/leveringspunkt. Omtrent 10 prosent av respondentene valgte alltid det billigste alternativet, og 11 prosent valgte alltid det raskeste. Dette tyder på at disse bedriftene hadde en strategisk satsing om å transportere varene billigst mulig, eller raskest mulig. Disse respondentene var ikke villige til å inngå i en avveining mellom tid og penger. De resterende 79 prosentene valgte ikke konsekvent det samme alternativet. Dette kunne tyde på at disse hadde en mer realistisk avveining for sin betalingsvillighet (Harkjerr Halse, et al., 2019).

2.2 Miljøkostnader

I denne oppgaven skal vi se på hvordan avgifter for utslipp kan påvirke hvilke kjøretøysvalg Miniekspress tar. Avgifter er et økonomisk virkemiddel som kan brukes til å påvirke hvilke valg en bedrift eller enkeltperson tar. I denne situasjonen vil vi legge til de kostnadene Miniekspress påfører miljøet ved de transportvalgene de tar. Det vil si at de eksterne kostnadene blir internalisert. Dette gjøres ved å legge inn de eksterne kostnadene som en avgift. I denne situasjonen vil de eksterne kostnadene bestå av miljøkostnader.

Miljøkostnadene blir basert på de marginale tiltakskostnadene ved å slippe ut klimagasser og stoffer som påvirker det lokale miljøet. Disse er begge inkludert i begrepet «miljøkostnader». Inkludert i begrepet samfunnsøkonomiske kostnader vil da være miljøkostnadene og de bedriftsøkonomiske driftskostnadene, fratrukket dagens CO₂-avgift på diesel.

Utslippene fra transportsektoren som vi ser på er fra ikke-kvotepliktig sektor. Norge har forpliktet seg til klimagasskutt gjennom Parisavtalen. Derfor blir tiltakskostnaden for å nå dette målet brukt (Løvold Rødseth, et al., 2019). Her er tiltakskostnaden for klimagassutslipp referert til som CO₂-kostnader, fordi vi bruker CO₂e som en måleenhet. For å begrense utslippene av lokalt skadelige gasser har Norge bundet seg til Gøteborg-traktaten. Den marginale tiltakskostnaden for lokale utslipp er basert på målsetningen om utslippskutt Norge har forpliktet seg til å nå (Løvold Rødseth, et al., 2019).

Tiltakskostnader

Tiltakskostnadene av klimagasser måles i kroner per enhet oppnådd utslippsreduksjon av CO₂e. Den kan også sees på som den samfunnsøkonomiske nettokostnaden, som er den samfunnsøkonomiske kostnaden fratrukket samfunnsøkonomisk nytte. Den kan brukes til å sammenligne tiltak, ved at den som er billigst lønner seg mest å gjøre for samfunnet (Miljødirektoratet, 2020).

I denne oppgaven har vi benyttet marginale tiltakskostnader. Marginale tiltakskostnader er kostnaden for å kutte det siste utslippet for å nå utslippsmålet. Dette kan også refereres til som marginalkostnaden ved utslippsreduksjon (Løvold Rødseth, et al., 2019).

2.2.1 Global miljøpåvirkning

Gasser som bidrar like mye til klimaendringer uavhengig av hvor de slippes ut defineres som globale klimagasser. De blir referert til som klimagasser, ettersom de påvirker klimaet og varmer opp kloden (Miljødirektoratet, 2021). Klimagassene måles i tonn CO₂-ekvivalenter. Eksempler på disse gassene er CO₂ og CH₄ (metan) (Løvold Rødseth, et al., 2019, p. 13).

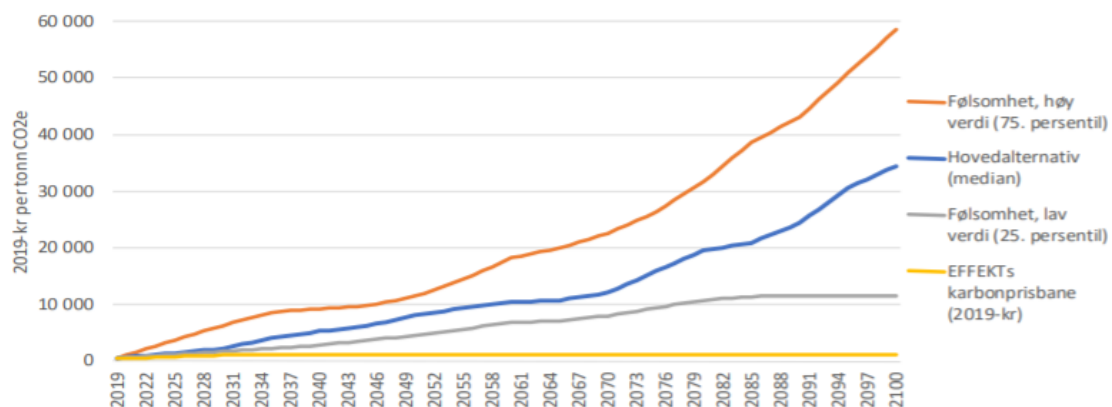
Tabell 2.1: Anbefalt karbonprisbane for kalkulasjonspriser i norske samfunnsøkonomiske analyser. Kostnaden gjelder for kroner per tonn CO₂-ekvivalenter (kroner/tCO₂e), og er tiltakskostnaden for å nå 1,5 gradersmålet i Parisavtalen. Oppgitt i 2019-kroner. Kilde: (Løvold Rødseth, et al., 2019, p. 17)

	2019	2030	2050	2070	2100
Kroner/tCO₂e	508	2 159	7 998	12 067	34 455
Bakgrunn	CO ₂ -avgift	IPCC (2018)	IPCC (2018)	IPCC (2018)	IPCC (2018)

Tiltakskostnaden for å redusere utslippet av klimagasser slik at verden når 1,5-gradersmålet er oppgitt i tabell 2.1. Det er dette målet Norge har forpliktet seg til gjennom Parisavtalen. Den viser at prisen for å slippe ut CO₂e er satt til å stige frem mot 2100. Prisen for utslipp for 2019 er tatt ut ifra dagens CO₂-avgift, som er på 508 kroner. Dette er ikke nødvendigvis en riktig pris for hva tiltakskostnaden var i 2019, men et startpunkt for å gradvis øke prisen frem mot 2030. Dette skjer fordi de billigste tiltakene for utslippskutt skjer først. Over tid vil tiltakene som settes i verk for å kutte utslipp bli dyrere og dyrere. Kostnaden fra karbonprisbanen kaller vi CO₂-kostnader. I denne oppgaven ser vi på økningen frem til 2030-nivå.

En annen forutsetning som er tatt for at tiltakskostnaden skal være riktig er at målet som skal nås er det samfunnsøkonomisk optimale. Målet som vi prøver å nå er å redusere den globale oppvarmingen med 1,5 grad, som bestemt i Parisavtalen. Det er mulig å diskutere om dette målet er det samfunnsøkonomisk riktige, men det ligger utenfor vår oppgave. Det blir dermed antatt at målet er riktig for å oppnå maks samfunnsøkonomisk nytte.

Vi har i denne oppgaven brukt karbonprisbanen til IPCC, som gir et bilde av den globale tiltakskostnaden. Som vist i figur 2.1 er det noe usikkerhet for hvordan denne utvikler seg.



Figur 2.1: Karbonprisbane fra IPCC (Løvold Rødseth, et al., 2019). Hovedalternativet (median) er tiltakskostnaden for å nå 1,5 gradersmålet i Parisavtalen. Utviklingen vises i 2019-kroner. Det er lagt på to følsomhetsvariabler for å vise variasjon, høy og lav verdi. EFFEKT er også en karbonprisbane som er fra statens vegvesens modell.

Figur 2.1 viser i tillegg til IPCCs karbonprisbane en høy og en lav verdi. Disse kan brukes til følsomhetsanalyser. Karbonprisbanen fra statens vegvesens EFFEKT-modell er også inkludert, som er basert på estimater fra Etatsgruppen Klimakur 2020 (2009). EFFEKT-karbonprisbanen er vesentlig lavere enn IPCCs karbonprisbane. Vi bruker IPCC sin karbonprisbane, fordi den er nyligere oppdatert, og baserer seg på marginale tiltakskostnader (ikke kvotepriser) som anbefalt i Løvold Rødseth, et al. (2019).

2.2.2 Lokal miljøpåvirkning

Lokale utslipp vil føre til skader i de omkringliggende geografiske områdene. Hvor store skadene av utslippene er blir basert på hvor høy konsentrasjonen av utslippene er og hvor mange mennesker som blir eksponert. Tiltakskostnaden blir derfor høyere i tettbebygde strøk. Stoffene vi ser på er utslipp av nitrogenoksider (NO_x), svevestøv (PM₁₀) og svoveldioksid (SO₂). Svevestøv skapes av slitasje på dekk, bremses og vegstøv, i tillegg til at det finnes i eksos fra forbrenningsmotorer. Vi ser på partikler som er mindre enn 10 tusendels millimeter for svevestøv. Utslippene av CO₂, NO_x og SO₂ kommer fra eksosutslipp (Løvold Rødseth, et al., 2019, p. 13).

Vi deler opp i tre typer område, ut ifra hvor mange innbyggere som finnes i området. Tiltakskostnaden for utslipp vil dermed være høyere for områder med flere innbyggere (Løvold Rødseth, et al., 2019, p. 33). For lokale utslipp er tiltakskostnaden satt til å nå målet som er

oppgitt i Gøteborgprotokollen. For å regne ut dette er det i Løvold Rødseth, et al. (2019) brukt verdien av tapte leveår, VOLYer (Value Of Life Year).

2.2.3 Drivstoff

Utslippene bestemmes ut ifra hvilke drivstoff og teknologi som velges til kjøretøyene og renseteknologi (Magnus, et al., 2018). Motorene vi ser på er alle av euroklasse VI (for diesel- og biogasskjøretøy), og har derfor samme renseteknologi, men drivstoff kan variere. Derfor vil vi fokusere på effektene som kommer fra de forskjellige drivstoffvalgene. Videre ser vi på bruk av diesel og biogass som drivstoff, og elektriske lastebiler og hydrogenlastebiler.

Utslippene fra drivstoff påvirkes av hva drivstoffet er produsert fra. I denne oppgaven blir utslippet fra drivstoffet vurdert ut ifra produksjonsmetode og bruk av drivstoffet. Dette gjør det mulig å skille mellom utslippene fra biogass og naturgass, som begge består av metan, men er produsert av forskjellige stoff. Dette gjør også at strøm produsert fra fornybare kilder er å foretrekke, ettersom det vil gi lavere utslipp i produksjonsfasen. Det blir antatt at produksjonen av drivstoff bruker strøm av fornybare kilder, fordi strømmen i Norge stort sett er fornybar (Noregs vassdrags- og energidirektorat, 2021). Vi tar ikke med miljøpåvirkning av å produsere strøm fra for eksempel vannkraft. For biodrivstoff tar vi bort CO₂-kostnaden, ettersom drivstoffet antas å være klimanøytralt. Vi avgrenser oss til å se på biler som har Euro VI-rensesystem. Både diesel- og biogassbilene har Euro VI-motor. Dermed blir kostnaden for de lokale utslippene for diesel- og biogassbiler den samme (Løvold Rødseth, et al., 2019, p. 38).

For biler som går på naturgass og biogass kan samme bilen også benyttes fordi begge gassene er metangass og har samme kjemiske sammensetning. I Norge benyttes biogass, men i Europa er det for det meste naturgass (Gassum, 2021). Flytende gass har også noe lavere energitetthet enn diesel, men tankingen kan ta noe mer tid, særlig dersom fyllestasjonen ikke har blitt brukt på en stund, som i løpet av natten eller lignende (Gassum, 2021). Utslippene av NO_x og svevestøv er samme som en motor som er dieseldrevet med Euro VI teknologi (Magnus, et al., 2018).

Diesel

Biler som går på diesel slipper ut både CO₂, NO_x, SO₂ og svevestøv. På grunn av bedre renseteknologi som har kommet med de senere euroklassene er utslippene av NO_x og SO₂ blitt betydelig redusert. På grunn av en utskifting av de gamle bilene som ikke har Euro VI, vil utslippene av NO_x og SO₂ trolig synke kraftig de neste årene, til tross for en økning i trafikken. Diesel er i dag nærmest fri for SO₂, og nedgangen i utslippene av dette vil være mindre, siden de allerede er veldig lave (Løvold Rødseth, et al., 2019).

Biogass

Biogass består, som naturgass, av metan. Biogass er produsert fra bakteriell nedbryting av biologisk materiale (Miljødirektoratet, 2021). Dette gjør at det regnes som klimanøytralt. Det finnes i to former, flytende form (LBG) og som komprimert gass (CBG). I denne oppgaven bruker vi LBG. Det er også mulig å blande inn naturgass i biogassen, noe som øker klimapåvirkningen. I Norge produseres biodrivstoff for det meste ved bakteriell nedbryting av slam, organisk avfall og husdyrgjødsel (Magnus, et al., 2018). Oslo kommune er den største produsenten av biogass i Norge i dag. Her produseres biogassen fra kloakk (Gassum, 2021).

Metan har 25 ganger så stor klimapåvirkning i atmosfæren som CO₂. Siden biogass består av metan er altså svært viktig å passe på at lekkasjer ikke forekommer, da forsvinner mye av klimanytten ved å benytte dette drivstoffet (Miljødirektoratet, 2020).

Biogass er klimanøytralt og unntatt fra CO₂-avgiften. Prisen i dag er 15,6 kroner per kilo (Gassum, 2021).

Elektriske lastebiler

For elektriske lastebiler brukes batteri som energilagring. Egenskapene til batteriet er viktig for om det kan brukes til lastebiler. Det er viktig at batteriene oppfyller krav til størrelse og rekkevidde for at de kan brukes. Det finnes noen elektriske lastebiler i det Norske markedet i dag, blant annet fra Volvo med rekkevidde på inntil 300 kilometer og en ladetid på 1,5 time ved hurtiglading (Volvo Trucks, 2019).

Dersom man velger en elektrisk lastebil vil den forurense med svevestøv, men ikke slippe ut CO₂ eller andre gasser. En tung godsbil som går på strøm vil slippe ut 0,21 gPM₁₀ (svevestøv) per kilometer (Løvold Rødseth, et al., 2019, p. 32). Hvor miljøvennlig det er å bruke strøm i et livsløpsperspektiv vil avhenge av hvordan strømmen produseres. I Norge har vi god tilgang på fornybar energi, og regner derfor at det ikke slippes ut CO₂. Siden de ikke har

forbrenningsmotorer, slipper de heller ikke ut NO_x-gasser. Elektriske lastebiler bidrar derimot til danning svevestøv, fra vei- og dekkslitasje. De er tyngre på grunn av batteriene, noe som kan bidra til at de lager mer svevestøv enn tilsvarende diesel-biler. Svevestøv er skadelig på lokalt nivå, fordi det skaper dårligere luftkvalitet. Elbiler lager derimot stort sett svevestøv med større partikler (PM₁₀) som ikke er like skadelige for lungene. Det bidrar derfor mindre til lokale skadevirkninger enn svevestøvet med mindre partikler fra dieselmotorer (Hooftman, et al., 2016).

En viktig forutsetning for at det skal være mulig å velge elektriske lastebiler er at tilgangen på ladestasjoner er god. Dersom batteriene får en god rekkevidde kan det være tilstrekkelig å lade om natten, men slik situasjonen er nå for tungtransport må mange belage seg på å hurtiglade i løpet av dagen i tillegg. Dette krever at det finnes hurtigladede langs ruten. Dersom flere bruker elektrisk lastebil kan infrastrukturen bygges mer ut. De kan ikke bruke samme system som personbiler, ettersom de trenger større plass og annet behov for ladeeffekt (Magnus, et al., 2018).

Rekkevidden til de elektriske lastebilene påvirkes av hvor tung last bilen drar. Et problem er da at rekkevidden bare er kjent for biler uten last og uten å ta hensyn forskjellig terreng og føre. Dette fører til at større sikkerhetsmarginer må legges inn. Usikkerheten vil være størst for kjøretøy som ikke kjører på en fast rute (Magnus, et al., 2018). Man regner med at rekkevidden halveres sammenlignet med det som blir oppgitt av produsentene om vinteren i Norge, noe som vil være problematisk dersom langtransport skal over på elektriske biler (Mjøsund, et al., 2018).

Hydrogen

Å bruke hydrogen som drivstoff kan gjøres uten å slippe ut CO₂, NO_x eller SO₂, slik som ved elektriske lastebiler. Hvordan hydrogenet produseres vil bestemme hvor mye CO₂e som slippes ut gjennom hele livstiden til hydrogen. Det vil ikke slippes ut noe annet enn vann lokalt når det brukes, i tillegg. Hydrogen produseres foreløpig på to måter: ved elektrolyse av vann og fra dampreforming av metan (Magnus, et al., 2018). For både hydrogenbiler og elektriske lastebiler vil svevestøv i tillegg dannes fra vei- og dekkslitasje. Utslippene av svevestøv fra denne slitasjen er på 0,21 gPM₁₀ per kilometer kjørt (Løvold Rødseth, et al., 2019, p. 32).

Dersom hydrogenet er produsert ved elektrolyse basert på fornybar strøm vil det være nullutslipp. Dette er mulig i Norge, da vi har god tilgang på fornybar energi til en lav pris. Det vil også være nullutslipp dersom det produseres fra metan i biogass. Om hydrogenet produseres

fra naturgass vil det ikke være nullutslipp, men det er mulig å kombinere produksjonen med karbonfangst for å senke utslippene. På verdensbasis er det mest vanlig å produsere hydrogen fra naturgass, men i vår analyse antar vi at det er produsert i Norge ved elektrolyse med fornybar strøm (Magnus, et al., 2018).

3 Data

3.1 Datagrunnlag og forbehandling

3.1.1 Opplysninger og data fra miniekspress

Grunnlaget for oppgaven er flere datasett som vi har fått tilsendt fra Miniekspress AS, samt utveksling av generelle opplysninger over e-post. Miniekspress har sendt oss data fra syv kjøretøy. Vi har mottatt opplysninger og posisjonsdata for hver av disse kjøretøyene. Opplysningene gjelder informasjon om kjøretøy-nummer, fabrikkat, modell, årsmodell, gjennomsnittlig diesel-forbruk per 10 kilometer, dieselkostnader, type aggregat for kjøleløsning, bompengeutgifter, fyllingsgrad, Euro-klassifisering, registreringsnummer og vekt på containere. Data på vekt hos kjøretøyene er hentet fra Statens vegvesen sine kjøretøyopplysninger (Statens vegvesen, 2020).

Posisjonsdataene er hentet fra programmet LinkitAll av Miniekspress og inneholder posisjonsdata per dag for hver av kjøretøyene i uke 46 i 2020. Posisjonen til kjøretøyet måles hvert kvarter. Etter opplysning fra Miniekspress er dette representative data for bilene og rutene er relativt stabile over tid. I datasettene oppgis dato og tid for registreringen, gjennomsnittlig hastighet per tidsenhet, kilometer kjørt per tidsenhet og adresseregistrering per tidsenhet. I tillegg er det oppgitt data om registreringsnummer, total distanse, gjennomsnittlig hastighet totalt, total tid bilen har vært i en form for bruk, total kjøretid og dato/ klokkeslett fra og til for registreringen. Distansemålingene er basert på hvor langt kjøretøyet har kjørt i luftlinje, mellom hver av målingene med ett kvarters mellomrom.

Ettersom at Miniekspress nylig har anskaffet biogass-lastebiler, har vi også mottatt noe data på disse, tilsendt på epost fra Miniekspress. Dette gjelder data for snittforbruk av biogass-drivstoff og registreringsnummer.

3.1.2 Ruter

På bakgrunn av posisjonsdataene vi har mottatt fra Miniekspress for syv kjøretøy, har vi valgt å definere rutene basert på den ukentlige målingen av de syv diesel-lastebilene. Historikken til hver av disse, definerer vi derfor som rute 1 til og med 7. Hver av disse rutene har da forskjellig fyllingsgrad, kjøredistanse, kjøretid og bompenger som tilsvarer diesel-lastebilen med historikken for denne ruten. Når vi inkluderer andre lastebil-alternativer i oppgaven, må vi også ta hensyn til andre momenter ved disse alternativene. Tabell 1A i vedlegget viser en oversikt

over modellspesifikasjon til diesel-lastebilene som tilsvarer disse syv rutene. Vi skiller da mellom modellene Volvo FM330 og Volvo FH500 (Statens vegvesen, 2020). Volvo FM330 omtaler vi som diesel liten, mens Volvo FH500 omtaler vi som diesel stor, ettersom at Volvo FM330 har lavere tillatt fraktvekt. Med bakgrunn i dette, forutsetter vi at diesel liten ikke kan kjøre på rute 6 og 7. Dataene på rutedistanse, fyllingsgrad og kjøretid vil være like for alle lastebil-alternativer på disse rutene, også når vi inkluderer flere lastebiltyper. De andre lastebiltypene som ikke kjører de syv rutene i utgangspunktet, er altså biogass-, hydrogen og elektrisk lastebil.

3.1.3 Merverdiavgift

Miniekspres kommer under gruppen tjenesteytende næringer, ettersom de leverer en transporttjeneste. Vi antar at de er en MVA registret bedrift ettersom de omsetter for over 50 000 kroner i året, og at de får fratrukket for MVA. Dermed holder vi MVA utenfor (Altinn, 2020). Prisen på hydrogen er imidlertid oppgitt med MVA hver gang det refereres til denne. MVA trekkes fra prisen før det gjøres beregninger.

3.1.4 Estimerte driftskostnader

Kostnader til lønn, øvrige kostnader, årsavgift og forsikring, er hentet fra rapporten Kostnadsmodeller for logistikk og transport – basisår 2016 (Grønland, 2018). Dette er tidsavhengige kostnader. Distanseavhengige kostnader er også hentet fra denne rapporten, som kostnader til vedlikehold, vask og rekvisita, samt dekkkostnader. I rapporten fremgår tidsavhengige og distanseavhengige kostnader i tabell 3.3 (Grønland, 2018). I denne tabellen vises tidsavhengige og distanseavhengige kostnader for flere godsbiler. Vi tok utgangspunkt i transport av kjølevarer (termotransport), ettersom Miniekspres frakter kjølevarer. Fordelingen av disse kostnadene fremgår også av Grønlands (2018) rapport, i tabell 3.1 og tabell 3.2. Vi benyttet tabell 3.2 i Grønlands (2018) rapport til å slå fast andelen av tidsavhengige kostnader som går til årsavgift, forsikring, lønnskostnad, kapitalkostnad og øvrige kostnader, slik det framgår av tabellen. Kapitalkostnadene har vi trukket ut fra de tidsavhengige kostnadene, basert på denne fordelingen. Tabell 3.1 i Grønland (2018) benyttet vi denne til å slå fast andelen av distanseavhengige kostnader som går til drivstoff, vask og rekvisita, vedlikehold og dekk. Basert på tabell 3.1 i Grønlands (2018) rapport, trakk vi ut drivstoffkostnadene fra de distanseavhengige kostnadene.

Drivstoffkostnadene ble senere lagt til, basert på faktiske forbrukstall oppgitt fra Miniekspress og forutsatte eller beregnede drivstoffkostnader og ladekostnader. Drivstoffkostnadene er nærmere beskrevet under avsnittet «estimerte drivstoffkostnader». Vesentlig å nevne er at da vi hentet data fra tabell 3.1 og 3.2 i Grønlands (2018) rapport, og benyttet fordelingen for kjøretøytypen med tungtransport av containere, da dette ikke er skilt ut på termotransport i disse tabellene (Grønland, 2018, pp. 7-8, 39).

De tidsavhengige og distanseavhengige kostnadene er blitt beregnet for per time og per kilometer og er vist i tabell 2A i vedlegget. Disse er listet opp for kjøretøyene som går på rutene i dag og kjøretøyalternativene. Vesentlig å nevne er at CO₂-avgift på diesel er tatt ut. Vi ser nærmere på CO₂-avgiften i kapittel 3.1.7. I tabell 3A og 4A i vedlegget ser vi også en oversikt over kilometerdistanse og tiden som går med til kjøring på hver av rutene.

I rapporten til Grønland (2018, pp. 7-8, 39) har vi også hentet lastekostnader og lossekostnader fra tabell 6.4. I tabell 6.4 i denne rapporten har vi tatt utgangspunkt i termolastebil og terminalklasse 2.

I beregningen av lastekostnader og lossekostnader er disse basert på fraktvekt ved fyllingsgrad lik 90 prosent. Med dette mener vi 90 prosent av total tillatt fraktvekt av varer som fraktes. Fraktvekt for hver av rutene ved 90 prosent fyllingsgrad er vist i tabell 5A i vedlegget. Dette gir tilhørende lastekostnader og lossekostnader for hver av rutene, som vist i tabell 6A i vedlegget.

Videre er det hentet forsinkelseskostnader (WTA) fra tabell 6.2 i rapporten «*Bedrifters verdsetting av raskere og mer pålitelig transport*» (Harkjerr Halse, et al., 2019, p. 64). I tabellen fra denne rapporten er det tatt utgangspunkt i andre termovarer. I tabell 7A i vedlegget har vi lagt ved kostnaden for en times forsinkelse for hver av rutene. Dette er basert på fraktvekten til hver av rutene, ved 90 prosent fyllingsgrad (tabell 5A i vedlegget). Forsinkelseskostnadene påløper som en ekstrakostnad dersom elektriske lastebiler resulterer i forsinkelse. Vi beskriver dette nærmere i kapittel 4.1.

For oppsettet av bompenger, er disse blitt oppgitt fra Miniekspress som månedskostnad for november 2020. Vi har beregnet om bompengenkostnaden til ukesbasis. I tabell 8A i vedlegget, vises den estimerte bompengenkostnaden per uke for hver av rutene.

3.1.5 Estimerte drivstoffkostnader

Som beskrevet over, fjerner vi drivstoffkostnader fra kostnadene som var distanseavhengige. Dermed kunne vi beregne drivstoffkostnadene basert på oppgitt forbruk fra Miniexpress. Det legges også ved kostnader til tanking av hydrogen-lastebiler og lading av elektriske lastebiler. Alle disse kostnadene brukes som distanseavhengige kostnader, bortsett fra hos elektriske lastebiler. Ladekostnaden til elektriske lastebiler er ikke konstant for alle rutedistanser.

Biogass

Prisen for biogass har vi fått oppgitt fra Miniexpress og Gassum til å være 15,6 kroner per kilo (Gassum, 2021). Vi benytter denne prisen på biogass i våre beregninger. Miniexpress opplyser samtidig at snittforbruket ligger på mellom 2,55 og 2,87 kilo per mil for deres biogass-lastebiler i dag. Dette danner grunnlaget for kostnadsberegningen av biogass. Fra Klimakur 2030 vet vi også at biogass vil sannsynligvis stige med 20 prosent i pris frem mot 2030 (Miljødirektoratet, 2020, p. 389).

Hydrogen

For beregninger av kostnader ved hydrogen, setter vi prisen til 90 kr per kilo inkludert MVA som utgangspunkt. Ifølge Greensight (2017, p. 35) er dette en pris som i 2017 var fastsatt, og siden det foreløpig er lite etterspørsel, er den sannsynligvis høyere enn dersom den var bestemt av vanlige markedsmekanismer. Greensight (2017) beregner også en produksjonskostnad på hydrogen til 53,57 kroner per kilo. NEL har også oppgitt at det vil være mulig å oppnå en produksjonskostnad på hydrogen helt ned til 10 kroner per kilo, dersom de har tilstrekkelig kundegrunnlag (Magnus, et al., 2018). SINTEF (2016, p. 7) viser også til at produksjonskostnaden på hydrogen antagelig vil falle fram mot 2030. Dette indikerer at prisen på hydrogen kan bli noe usikker, men også at prisen antagelig kan komme til å falle, dersom kundegrunnlaget øker og produksjonskostnaden faller.

Diesel

For dieselkostnaden har vi benyttet gjennomsnittlig forbruk vi har fått oppgitt fra Miniekspress. Dette er basert på faktiske tall fra kjørerutene. Vi brukte tall på dieselpris per liter, hentet fra SSB for januar 2021 (Statistisk sentralbyrå, 2021). Denne prisen er på 11,64 kroner. Før vi kunne benytte denne dieselprisen til beregninger, trakk vi fra CO₂-avgiften. Dieselprisen ekskludert CO₂-avgiften er på 10,06 kroner. Dette er nærmere beskrevet under avsnittet «CO₂-kostnader». Dieselprisen vil også variere. Fra 2013 til 2020 har prisen variert, mellom 7,18 og 11,02 kroner, dersom vi trekker fra dagens CO₂-avgift (Statistisk sentralbyrå, 2021).

Ladekostnad

Ved utregning av ladekostnad til elektriske kjøretøy brukte vi kostnader ved lading, samt informasjon om batterikapasitet, ladekapasitet og rekkevidde. Vi hentet data på strømpris for vanlig lading, som vi forutsetter vil være mulig på terminalen til Miniekspress til denne prisen, samt data på pris til lynlading som foregår på stopp underveis i ruten.

For lading av elektriske lastebiler på terminalen antar vi at dette kan gjøres til kraftpris. For kraftpris må de betale el-avgift. Kraftprisen er hentet fra tabellen 09364: Kraftpriser i sluttbrukermarkedet, etter kontraktstype 2012K1 - 2020K4 (Statistisk sentralbyrå, 2021). El-avgiften er på 16,69 øre per kWh for 2021 (Skatteetaten, 2021). Den gjennomsnittlige strømprisen for tjenesteytende næringer ekskludert avgifter var 16,28 øre pr kWh for 2020. Prisjustert for 2021 blir prisen 16,55 øre per kWh (Statistisk sentralbyrå, 2021). Inkludert elavgiften blir dette en pris på 33,24 øre per kWh.

Selv om vi fant at prisen på strøm var 33,24 øre per kWh, har prisen på strøm har variert mellom år 2012 og 2020, med en 33 prosent reduksjon og en 63 prosent økning fra denne prisen (Statistisk sentralbyrå, 2021).

Circle K tilbyr en pris på 3,99 kroner per kWh for registrerte kunder (Alimentation Couche-Tard Inc., 2020). Vi benytter derfor denne prisen i våre beregninger. Vi så i midlertidig at prisen kan variere noe mellom tilbyderne. Den laveste er en pris på 1,94 per kWh, og den høyeste en pris på 6,72 per kWh (Haugeneland, 2020). Dette tilsvarer en 52 prosent reduksjon og en 68 prosent økning fra prisen vi benytter i våre beregninger. Med lynlading kan det lades med opptil 150 kWh hos Circle K (Alimentation Couche-Tard Inc., 2020).

Volvo oppgir at deres Volvo FL Electric kan utstyres med opptil seks batterier og har en rekkevidde på inntil 300 kilometer. Hver av batteriene har en kapasitet på 66 kWh. Seks slike batterier tilsvarer derfor en total kapasitet på 396 kWh. Vi benytter denne batterikapasiteten for elektrisk lastebil i våre beregninger. Volvo oppgir også at maksimal energi som er mulig å utnytte er inntil 317 kWh (Volvotrucks, 2019).

I oppgaven tar vi utgangspunkt i en rekkevidde på 200 kilometer for elektrisk lastebil. Dette vil bety at selv om den oppgitte rekkevidden er på 300 kilometer, så vil den faktiske rekkevidden bare være på 200 kilometer, på grunn av kjøreforhold, som beskrevet i 1 2.2.3. Vi velger ikke å halvere oppgitt rekkevidde, fordi rekkevidden vil sannsynligvis reduseres mindre når det ikke er vinter.

3.1.6 Områdetyper

Data på befolkningstall fra kommuner i Norge (Statistisk sentralbyrå, 2021) og data på postnumre som er registrert på i hver av disse kommunene (Bring, 2021) er blitt hentet for å identifisere tettsteder. Ved hjelp av dette kunne vi enkelt se om kjøretøyene hadde vært i en gitt kommune og hva som var befolkningen i denne kommunen. Vi har brukt tre områdetyper: spredt bebyggelse, tettsted (15 000 – 100 000 innbyggere) og tettsted (> 100 000 innbyggere). Det er samme inndeling som er brukt i Løvold Rødseth, et al. (2019). Vi omtaler disse som henholdsvis utenfor tettsted, middels tettsted og stort tettsted. Vi har regnet ut kjørt distanse i hver av disse områdetypene, og hvor stor andel av rutene som kjøres i de forskjellige områdetypene. Se tabellen under for illustrasjon av den kjørte distansen i de forskjellige type områdene (tabell 3.1). Se også tabell 3A i vedlegget for kjøredistansen per dag i uke 46 i 2020, for hver av rutene. Disse distansene danner grunnlaget for kostnader som påløper per kilometer.

Tabell 3.1: Kilometer kjørt for hver rute, delt inn i de forskjellige områdetypene. Området utenfor tettsted er spredt bebyggd, middels tettsted har 15 000 til 100 000 innbyggere, og stort tettsted over 100 000 innbyggere. I parentes er det oppgitt prosent av kilometer kjørt i den aktuelle områdetypen.

	Utenfor tettsted	Middels tettsted	Stort tettsted	Totalt uke 46
Rute 1	346 (22%)	1141 (73%)	85 (5%)	<u>1572</u>
Rute 2	0 (0%)	793 (100%)	0 (0%)	<u>793</u>
Rute 3	95 (6%)	1292 (82%)	196 (12%)	<u>1583</u>
Rute 4	25 (2%)	1171 (81%)	243 (12%)	<u>1439</u>
Rute 5	265 (16%)	943 (58%)	411 (25%)	<u>1619</u>
Rute 6	1070 (50%)	1075 (50%)	0 (0%)	<u>2145</u>
Rute 7	399 (30%)	866 (65%)	75 (6%)	<u>1340</u>

3.1.7 Miljøkostnader

CO2-kostnader

I 2021 er CO2-avgiften på en liter autodiesel 1,58 kr (Skattetaten, 2021). For lastebilene som er diesel-drevet har vi erstattet CO2-avgiften på diesel med CO2-kostnader per kilometer fra rapporten til Løvold Rødseth, et al. (2019, p. 310), herunder tabell v6.1. CO2-kostnadene blir en del av miljøkostnadene i vår modell. CO2-kostnadene i rapporten er differensiert på grunn av forskjellig kjørestil i tettbebyggelse og spredt bebyggelse, som gir forskjellige utslipp av CO2. Rapporten til Løvold Rødseth (2019) deler biler inn i vektclasser, og alle bilene i modellen er i klassen 20 til 28 tonn. I tabellen benyttet vi denne vektclassifiseringen og Euro VI klassifisering.

Økningen til CO2-kostnaden skal følge karbonprisbanen beskrevet i kapittel 2.2. Karbonprisbanen har vi fått tilsendt av TØI (Transportøkonomisk Institutt), og er den samme karbonprisbanen som er brukt i Løvold Rødseth, et al. (2019). Filen inneholder også verdier som kan benyttes til følsomhetsanalyse, da den inneholder tre scenarier for hvordan karbonprisen kan utvikle seg. Prisene er oppgitt i 2010-USD verdier. Vi har beregnet disse om til norske kroner (NOK) for 2010, basert på kjøpekraftparitetsjustert valutakurs (OECD, 2021). Videre ble de konsumprisindeksjustert opp til 2021-nivå med SSBs priskalkulator (Statistisk sentralbyrå, 2021). CO2-avgiften per kilometer fra Løvold Rødseth, et al., (2019) i 2019 måtte også prisjusteres opp til 2021 nivå på samme måte, ved hjelp av SSBs priskalkulator (Statistisk sentralbyrå, 2021). Deretter oppjusteres CO2-kostnaden per kilometer fra CO2-avgiften i 2019 til tiltakskostnaden for CO2 i 2021, ved hjelp av karbonprisbanen som beskrevet i kapittel 2.2.1.

Lokale utslipp

De lokale utslippskostnadene er hentet fra samme rapport som CO2-kostnadene (Løvold Rødseth, et al., 2019) og er differensiert ut ifra de tre områdetypene som beskrives over. På samme måte som ved CO2-kostnadene, benyttet vi vektclassifisering på 20 til 28 tonn og Euro VI klassifisering for diesel-lastebiler. For biogass-lastebilene benytter vi samme tall som for Euro VI klassifisering, med en vektclassifisering på 20 til 28 tonn.

For elektriske- og hydrogen-lastebiler benyttes tabell 6.8 i Løvold Rødseth, et al., (2019, p. 33) med estimater for lokale utslippskostnader per kilometer. Her skal det sies at elektriske- og hydrogen-lastebilene ikke har blitt differensiert på vekt. For diesel- og biogassbilene er tabell

V6.1 benyttet (Løvold Rødseth, et al., 2019, p. 310). De lokale utslippskostnadene har vi konsumprisindeksjustert med SSBs priskalkulator (Statistisk sentralbyrå, 2021) opp til 2021 nivå.

Videre utdyper også TØI at realprisjustering for kostnader i tettsteder, forårsaket av svevestøv og NO_x er nødvendig. Verdiene avhenger også av befolkningsvekst. I områder som er utenfor tettsted blir ikke kostnadene realprisjustert (Løvold Rødseth, et al., 2019). Modellen vi utvikler, har begrensninger i forhold til befolkningsvekst. Dette beskrives nærmere i kapittel 5.6.

Når det kommer til realprisjustering for kostnader i tettsteder forårsaket av svevestøv og NO_x, utdyper Løvold Rødseth, et al. (2019, p. 283) at dette skal gjøres med utgangspunkt i rapporten "Veileder i samfunnsøkonomiske analyser". Rapporten gir retningslinjer for hvordan en realprisjustering skal foregå. Vi baserer oss på justering av verdien for et statistisk liv (VSL) (Direktoratet for Økonomistyring, 2018, p. 105). Dette skal justeres for hver innbyggers vekst i BNP, som fremkommer i anslagene til den siste publiserte perspektivmeldingen. I den siste publiserte perspektivmeldingen, antas denne veksten å være 0,9% per år. Anslaget gjelder for tidsrommet 2020 til 2060 (Det Kongelige Finansdepartementet, 2021, p. 72). For året 2019, baserte vi oss på den siste perspektivmeldingen fra 2017 (Det Kongelige Finansdepartementet, 2017, p. 121). Her anslås veksten til 0,8 prosent.

Justering av miljøkostnader

CO₂-kostnaden og lokale utslippskostnader er distanseavhengige, men presenteres under miljøkostnader i tabellen 9A i vedlegget. Denne tabellen viser miljøkostnadene per kilometer for forskjellige områdetyper. Disse er hentet fra Løvold Rødseth, et al., (2019) og vi har prisjustert disse til 2021 nivå. CO₂-kostnaden er på medianestimat for 2021 og lokale utslippskostnader er BNP-vekstjustert til 2021 verdier.

3.1.8 Konsumprisregulering

Kostnader ved kjøretøy som gjelder bompenger, estimerer på lønn, årsavgift, øvrige kostnader, forsikring, vedlikehold, dekk, vask og rekvisita, har vi konsumprisindeksjustert med SSB sin «Kostnadsindeks for lastebiltransport» (Statistisk sentralbyrå, 2020) opp til 2021 nivå. Forsinkelseskostnader (WTA) har vi konsumprisindeksjustert med SSBs priskalkulator (Statistisk sentralbyrå, 2021) opp til 2021 nivå.

3.2 Forutsetninger

Oppgaven baserer seg på en rekke forutsetninger. Dette var nødvendig da det er stor usikkerhet rundt enkelte av faktorene som oppgaven er basert på. Nedenfor blir hver av forutsetningene forklart.

Rutespesifikasjon og fyllingsgrad

- Blant de syv lastebilene vi har fått data på, finnes det to størrelser – to store og fem mindre biler, der vi klassifiserer modellen Volvo FM330 som diesel liten og modellen Volvo FH500 som diesel stor (Statens vegvesen, 2020). Vi antar at diesel stor lastebilene kan kjøre de syv rutene, og at diesel liten ikke kan kjøre på rute 6 og 7, ettersom at tillatt fraktvekt til diesel liten ikke er tilstrekkelig for diesel liten på disse rutene.
- For biogass-lastebil har vi sett på en av de nyanskaffede biogass-lastebilene til Miniekspress. Denne er i samme størrelsesorden som diesel stor lastebil. Vi forutsetter derfor at biogass-lastebilen kan kjøre alle de syv rutene det blir sett på.
- Når det gjelder den elektriske lastebilen, er denne basert på Volvo FL Electric (Volvotrucks, 2021). Vi forutsetter at denne er på størrelse med diesel stor lastebil og kan kjøre alle de syv rutene.
- For hydrogen-lastebilen har vi ikke valgt ut noen spesifikk modell, men har tatt forutsetninger som gjør det mulig å sammenligne hydrogen-lastebil opp mot de andre lastebiltypene, og som gjør at hydrogen-lastebiler er på størrelse med og kan brukes på samme ruter som stor diesel lastebil.
- Miniekspress har opplyst at containerne de bruker til å frakte varer i veier mellom 4500 og 4700 kilo. Basert på dette forenkler vi og sier at alle containere i modellen vår veier 4600 kilo. Miniekspress kjører med en fyllingsgrad på 90 prosent av tillatt nyttelast, hvor vekten av containeren er trukket ifra. Bilene som allerede er registrert på rute 1 til 7 i dag, danner utgangspunkt for denne fraktvekten (diesel-lastebilene). Vi antar dermed at de fastsatte rutene har en fastsatt fraktvekt. Den fastsatte fraktvekten tilsvarer vekten som ble fraktet av kjøretøyet som opprinnelig kjørte på denne ruten (tabell 5A i vedlegget). De små diesel-lastebilene har mindre fraktvekt enn de store, slik at disse ikke kan kjøres på de samme rutene som de store diesel-lastebilene. Om de andre kjøretøyalternativene har annen tillatt nyttelast, vil dette påvirke fyllingsgraden for det gjeldende kjøretøyet. Vi ser imidlertid bort fra dette og antar at disse kan frakte tilstrekkelig fraktvekt for alle ruter.

Fylling, drivstoffkostnad og ladekostnad

- Vi forutsetter at kostnaden for alt drivstoff og ladekostnad er konstant på 2021-prisnivå frem til 2030. Vi justerer imidlertid for vekst i BNP for lokale utslippskostnader og økning i karbonavgiften for CO₂-kostnaden.
- For biogass, bruker vi prisen oppgitt fra Miniekspress og Gassum og forbruket oppgitt fra Miniekspress. Miniekspress oppga et forbruk på mellom 2,55 og 2,87 kilo per mil for biogass-lastebiler. Vi forutsetter at forbruket for biogass-lastebil, er snittet av disse to verdiene.
- Prisen på strøm, beregnet vi til å være 0,33 NOK per kWh. Vi forutsetter at lastebilene kan lades på terminalen til Miniekspress til denne prisen. Vi referer til dette som vanlig lading.
- Greensight (2017) estimerte et drivstofforbruk på 0,9 kilo hydrogen per mil for hydrogenlastebiler. Dette er basert på forbruket til eksisterende hydrogenlastebiler i Sveits. Vi velger derfor å også bruke dette estimatet i våre beregninger. I tabell 10A i vedlegget kan vi se en oppsummering av forbruket som legges til grunn for hver av lastebilene i oppgaven.
- Det blir også forutsatt at strøm, biogass og hydrogen som benyttes av lastebilene er produsert ved hjelp av fornybar strøm, og derfor ikke har CO₂-kostnader fra dette.
- Vi antar også at biogass- og hydrogen-lastebilene vil ha tilsvarende rekkevidde og kostnader til prosessen ved tanking, som dagens dieserbiler som kjører på rutene til Miniekspress i dag.

Rekkevidde og ladetid

- For elektriske lastebiler, setter vi rekkevidden til 200 kilometer som utgangspunkt, da vi vet at denne ofte vil være kortere enn hva som er oppgitt, slik vi beskrev i kapittel 2.2.3. Ved lading av elektriske lastebiler i modellen, antar vi at ladetiden er proporsjonal med effekten på batteriet. Det betyr at ladetiden ikke vil variere gjennom ladeprosessen. Vi forutsetter at elektriske lastebiler kan lynlade med en ladekapasitet på 150 kW, da Circle K opplyste at lynlading hos dem kan levere opptil 150 kW (Alimentation Couche-Tard Inc., 2020). Vi forutsetter også at bilene fulllades i løpet av natten og starter hver dag med fullt batteri.

Terminalkostnader

- Under utregning av terminalkostnadene har vi regnet med at laste- og lossekostnader vil være lik, ettersom den samme vekten med varer skal både av og på. Det blir heller ikke skilt mellom laste- eller lossekostnader fra rapporten vi hentet data fra Grønland (2018, p. 39).

Bompenger

- For bompenger forutsetter vi at det kun er diesel-lastebiler som betaler dette. Hydrogen og elbiler er fritatt fra dette i dag, og det forventes at det snart vedtas at biogass også er fritatt fra bompenger (Gassum, 2021).

Dekk og vedlikeholdskostnader

- For dekk og vedlikeholdskostnader har vi forutsatt at rapporten til Grønland (2018) sine estimater for dette er gjeldende for Miniekspress. Dette er til tross for at Miniekspress har reelle tall for dette for sine kjøretøy. Vi bruker estimatene fra rapporten for å mer detaljert identifisere kostnadene som påløper per kilometer kjørt, ettersom at dette er distanseavhengige kostnader. Det er også knyttet usikkerhet rundt hvilke service-avtaler Miniekspress vil få rundt andre eller nye kjøretøy. Siden vi skal regne frem til 2030 vil sannsynligvis også service-avtaler forhandles om flere ganger, slik at den faktiske kostanden som Miniekspress har oppgitt, ikke nødvendigvis gir et godt bilde av fremtiden.

Områdetyper

- I oppgaven har vi benyttet oss av samme områdetyper som benyttes i Løvold Rødseth, et al. (2019), når vi beregner miljøkostnader for forskjellige områder. Vi forutsetter at dette er en passende inndeling for våre områder, ettersom Løvold Rødseth, et al. (2019) har brukt denne inndelingen i lignende studier.

4. Metode

4.1 Kostnadsmodell

Målet med kostnadsmodellen i oppgaven var å identifisere hvordan bedriftsøkonomiske driftskostnader (med unntak av CO₂-avgift på diesel), miljøkostnader og flere sentrale faktorer påvirker kostnadene til lastebilene på hver av rutene. Vi tok utgangspunkt i kostnadsmodellen for biltransport i Grønland (2018, p. 6) for å lage vår kostnadsmodell.

Kostnadsmodellene i rapporten til Grønland skal i utgangspunktet brukes som input til Nasjonal Godstransportmodell (NGM). Kort fortalt kan NGM brukes til å regne ut transportløsning. Dette kan regnes ut for flere grupper varer (Madslie, et al., 2015). Imidlertid kan kostnadsmodellene fra Grønland også brukes til beregninger utenom NGM, slik som vi gjør.

I oppgaven satte vi opp en kostnadsfunksjon for hver av kjøretøyene på alle rutene basert på kostnadsmodellen i Grønland. I tillegg inkluderte vi miljøkostnader per kjørte kilometer. For de elektriske lastebilene ble tiden for ekstra ladetid lagt inn, da lynlading til elektriske lastebiler kan skape forsinkelser. Denne forsinkelsestiden estimeres. Ekstra tid førte med seg ekstra tidskostnader per time og kostnader til lynlading. I tillegg ble det lagt inn forsinkelseskostnader som er tidsavhengige (WTA) (Harkjerr Halse, et al., 2019). Forsinkelseskostnadene ble lagt inn som timeskostnad per tonn varer som fraktes. Disse forsinkelseskostnadene fremkommer kun ved forsinkelser. Bompenger er lagt til under reiseavhengige kostnader.

I tabell 4.1 til 4.4 oppsummeres kostnadene vi benytter i beregningene. Tabellene med fremføringskostnader, terminalkostnader, og forsinkelseskostnader utgjør de bedriftsøkonomiske driftskostnadene, hvor CO₂-avgiften for diesel er trukket fra. Tabellen med miljøkostnader viser miljøkostnadene som vi inkluderer i kostnadsmodellen. Der vi har faktiske tall fra Miniekspress er dette benyttet. Andre steder har vi benyttet estimerer fra tilgjengelige rapporter. Opphavet til de forskjellige kostnadene er nærmere beskrevet i kapittel 3.1 og 3.2. Kostnadsmodellen i oppgaven ble basert på disse kostnadene og ble beregnet i Excel. Vi kom dermed fram til kostnader ved hver av lastebilmodellene, gitt hver av kjørerutene. Disse kostnadene blir også brukt som input til optimaliseringsmodellen vi beskriver i kapittel 4.2. I vedlegget finner vi fremføringskostnader for tidsavhengige og distanseavhengige kostnader i tabell 2A i vedlegget. Fremføringskostnad for bompenger finner vi i tabell 8A i vedlegget. Terminalkostnadene og de forsinkelseskostnadene er vist i tabell 6A og 7A i vedlegget. Når det gjelder miljøkostnader, er disse vist i tabell 9A i vedlegget.

Tabell 4.1 Fremføringskostnader, herunder tidsavhengige, distanseavhengige og reiseavhengige kostnader. Estimert betyr at kostnadene er basert på estimater fra Grønland (2018). Faktisk betyr at vi har faktiske tall på dette fra Miniekspress. Beregnet betyr at kostnaden er beregnet basert på tilgjengelige estimater som er funnet og data fra Miniekspress.

Fremføringskostnader		
Tidsavhengige kostnader	Distanseavhengige kostnader	Reiseavhengige kostnader
Lønn (estimat)	Vedlikehold, vask og rekvisitta, dekk (estimat)	Bompenger (faktisk)
Årsavgift (estimat)	Drivstoff (ekskludert CO2-avgift) / strøm (beregnet)	
Forsikring (estimat)		
Øvrige kostnader (estimat)		

Tabell 4.2 Terminalkostnader, herunder lossekostnader og lastekostnader. Disse er vektavhengige. Estimert betyr at kostnadene er basert på estimater fra Grønland (2018).

Terminalkostnader (vektavhengig)
Lossekostnader (estimat)
Lastekostnader (estimat)

Tabell 4.3: Miljøkostnader. Miljøkostnadene er distanseavhengige og avhengig av områdetype. Estimat betyr at kostnadene er basert på estimater fra Løvold Rødseth, et al. (2019).

Miljøkostnader (distanseavhengig og avhengig av områdetype)
CO ₂ -kostnad (estimat)
NO _x -kostnad (estimat)
Svevestøv-kostnad (estimat)

Tabell 4.4: Forsinkelseskostnader, herunder WTA (willingness to accept). Estimat betyr at kostnadene er basert på estimater fra Harkjerr Hasle, et al. (2019).

Forsinkelseskostnader
Kostnader for ekstra ladetid (WTA) (estimat)

Distanseavhengige kostnader for strøm

Når det gjelder de elektriske lastebilene, vil disse ha distanseavhengige kostnader for strømforbruk per kilometer. I kapittel 3.1.5 beskrev vi at det ble benyttet en batterikapasitet på 396 kWh til beregninger for elektrisk lastebil i oppgaven. Ved denne batterikapasiteten er også som nevnt den oppgitte rekkevidden fra produsenten på 300 kilometer. Samtidig forutsatte vi en faktisk rekkevidde på 200 kilometer for elektrisk lastebil som utgangspunkt. Strømforbruket vil derfor påvirkes av dette ved at strømforbruket per kilometer vil bli større ved en lavere faktisk rekkevidde enn det produsenten oppga. Kostnader til strøm vil derfor også bli høyere ved et større forbruk av strøm per kilometer. Dette legges inn i beregningene av de distanseavhengige kostnadene for elektriske lastebiler. Ved ytterligere endringer i rekkevidde (som beskrives under kapittel 4.4), vil dette også påvirke strømforbruket og strømkostnaden per kilometer.

Lynlading

For elektriske lastebiler er det beregnet ekstra ladetid som går med til lynlading. Ladebehovet er beregnet på bakgrunn av daglig kjøredistanse for rutene, som vist i tabell 3A i vedlegget. Ladebehovet er i oppgaven beregnet i kWh. Deretter er ladetiden beregnet på bakgrunn av en ladekapasitet på 150 kWh, som vi forutsatte var ladekapasiteten til lynlading (kapittel 3.2). I kostnadsmodellen medfører ekstra ladetid ekstra tidsavhengige kostnader (tabell 4.1) og forsinkelseskostnader (tabell 4.4).

4.2 Lineære løsninger av oppgaveproblemer

Management science

Vi tok utgangspunkt i Management science da vi analyserte problemet. Management science handler om å gi et bedre beslutningsgrunnlag, og det finnes flere måter å gjøre dette på. Vår problemstilling fremstilles som et matematisk problem, hvor vi tar sikte på å finne en optimal løsning. Derfor har vi valgt å bruke lineær programmering, som ligger inn under Management science. Med lineær programmering lagde vi en optimaliseringsmodell. Kostnadsmodellen vi beskrev i kapittel 4.1, fungerer som input til optimaliseringsmodellen. Modellen tar sikte på å optimalisere rutefordelingen mellom de forskjellige bilene, slik at den totale kostnaden blir minst mulig (minimeres). Bilene er basert på forskjellig teknologi, og har dermed forskjellige kostnader. Bilene skal allokeres på de syv forskjellige rutene vi undersøker i denne oppgaven (Hillier & Hillier, 2014). Vesentlig å nevne er diesel-lastebilene, klassifisert som diesel liten, ikke kan kjøre på rute 6 og 7, som forutsatt i kapittel 3.2.

Optimalisering

Modellen ble satt opp som en matematisk funksjon, slik at vi kunne behandle den som et optimaliseringsproblem med lineær programmering. For å gjøre dette brukte vi Microsoft Excel. Ragsdale (2008) beskriver at en optimalisering minimerer eller maksimerer en målfunksjon i modellen. I vår modell har målet vært å minimere kostnader. I et optimaliseringsproblem er det nødvendig å inkludere beslutninger, beskrankninger og målfunksjon. I oppgaven skal målfunksjonen minimeres. Selve beslutningsvariablene bestemmer beslutningene. For å illustrere dette, kan man si at variabelen C er beslutningene om

å allokere et kjøretøy til en viss rute. Beslutningsvariablene kan oppsummeres som vist under i ligning 4.1 og basert på Ragsdale (2008, p. 19).

$$C_1, C_2, \dots, C_n \quad (\text{Ligning 4.1})$$

Beskrankingene i modellen blir en funksjon av variablene som besluttes. Funksjonen av beslutningsvariablene kan måtte være: lik en viss verdi; større enn denne verdien eller lik; eller mindre enn denne verdien eller lik. Et eksempel på hver av disse type beskrankingene er som følger i ligningene 4.2 til 4.4, også basert på Ragsdale (2008, p. 19). Ragsdale (2008) beskriver at høyre side av ligningene under, kan refereres til som høyre side av beskrankingens sin verdi. Venstresiden kan refereres til som venstre siden av beskrankingens.

$$f(C_1, C_2, \dots, C_n) \leq \textit{konstant} \quad (\text{Ligning 4.2})$$

$$f(C_1, C_2, \dots, C_n) \geq \textit{konstant} \quad (\text{Ligning 4.3})$$

$$f(C_1, C_2, \dots, C_n) = \textit{konstant} \quad (\text{Ligning 4.4})$$

Når det gjelder målfunksjon skal denne enten minimeres eller maksimeres. Målfunksjonen kan settes opp matematisk. Dette vises som illustrert under i likning 4.5, igjen basert på Ragsdale (2008, p. 20). Beslutningsvariablene velges slik at man enten maksimerer eller minimerer målfunksjonen. Samtidig må også beskrankingene tilfredsstilles. De kan ta form som vi presenterte over.

$$\text{Maksimer eller minimer: } f(C_1, C_2, \dots, C_n) \quad (\text{Ligning 4.5})$$

Modellen som et oppgaveproblem

Modellen vår bestemte hvilke kjøretøy som blir satt til hvilke ruter. Dette blir i litteraturen omtalt som et oppgaveproblem. Problemet skal løse hvem eller hva som skal utføre bestemte oppgaver. Vi valgte å følge oppsettet til Hillier & Hillier (2014, p. kap. 15) for å utforme modellen som et oppgaveproblem. For hver av rutene skulle det bare velges ett kjøretøy. Modellene vi satt opp skulle derfor velge mellom lastebil-alternativene for hver av rutene.

Oppgaveproblemet tar beslutninger ved å allokere verdien 0 eller 1 som beslutningsvariabler. Hvis det tas en beslutning om å gjøre en bestemt oppgave, allokeres verdien 1. Hvis ikke, allokeres verdien 0. Det betyr at et visst kjøretøy vil allokeres til en bestemt rute dersom beslutningsvariablen til det gjeldende kjøretøyet blir satt til verdien 1. Som Hillier & Hillier

(2014) beskriver, gjelder dette for rene oppgaveproblemer. Rene oppgaveproblemer karakteriseres ved at de har likhetsbeskrankninger som skal påse at hver oppgave eksakt utføres av én ressurs, mens hver ressurs eksakt utfører én oppgave. Det kreves av likhetsbeskrankningene at summen for beslutningen av hver av oppgavene eller ressursene, må ha verdi lik 1. For å illustrere dette med et eksempel er det derfor lett å tenke seg at flere oppgaver halvveis kan utføres av flere ressurser, så lenge summen av beslutningsvariablene for oppgavene ut fra ressursene er lik 1. Ved å benytte seg av ikke-negativitetsbeskrankning for beslutningsvariablene i Solver i Excel, løses problemet uten heltallsbeskrankning på beslutningsvariablene. Hver av beslutningsvariablene tvinges til å ha verdiene 1 eller 0. Vesentlig å nevne er at beslutningsvariablene alltid vil ha verdien 1 eller 0, ved en optimal løsning av et rent oppgaveproblem (Hillier & Hillier, 2014, pp. 99-102).

Oppgaveproblemer krever at noen forutsetninger blir oppfylt. Forfatterne utdyper følgende forutsetninger (Hillier & Hillier, 2014, pp. CD 15-43):

1. “The number of assignees and the number of tasks are the same.
2. Each assignee is to be assigned to exactly *one* task.
3. Each task is to be performed by exactly *one* assignee.
4. There is a cost associated with each combination of an assignee performing a task.
5. The objective is to determine how all the assignments should be made to minimize the total cost.”

I tilfeller der forutsetninger brytes, finnes det uansett måter å omgå dette. Modellen kan da likevel tilpasses oppgaveproblemets format. Hillier & Hillier (2014, pp. CD 15-45) utdyper at det finnes flere varianter, hvor hver av disse kan tilpasses oppgaveproblemets oppsett.

Modellens sammenheng mellom forutsetninger og varianter

For modellen som settes opp for blandet kjøretøypark, har vi sett denne opp mot de presenterte forutsetningene og variantene for oppgaveproblemer under avsnittet over. Modellen har fem forskjellige typer kjøretøy som skal fordeles på syv ruter. Det betyr at modellen bryter den første forutsetningen. Vi har altså fem ressurser som skal fordeles til syv oppgaver. Videre brytes også forutsetning to og fire. De store lastebilene med dieselmotor og biogass-lastebilene må begge velges for eksakt to oppgaver. Følgelig, brytes den andre forutsetningen. Den fjerde forutsetningen brytes da vi ikke har registrerte kostnader for den minste diesel-lastebilen for

rute 6 og 7. Selv om modellen bryter med noen av forutsetningene for et oppgaveproblem, har det likevel vært mulig å tilpasse problemet til oppgaveproblemets oppsett. Vi har gjort dette i tråd med hva som anbefales i Hiller & Hiller (2014).

Den matematiske modellen

Modellen som formuleres finner de optimale rutevalgene for kjøretøyalternativene, gitt at kjøretøyalternativene består av en liten diesel-lastebil, to store diesel-lastebiler, en elektrisk lastebil, to biogass-lastebiler og en hydrogen-lastebil. Dette er vårt hovedscenario for en kjøretøypark og vi kaller dette scenariet for Blandet kjøretøypark, ettersom vi inkluderer alle lastebilstypene. Modellen som presenteres i metodedelene er basert på Blandet kjøretøypark. I oppgaven er det også sett på hvordan endringer av kjøretøyparken påvirker rutevalgene. Dermed utforsket vi også andre sammensetninger av bilparken enn det som er beskrevet her. I kapittel 4.3 vises en oversikt over kjøretøyparkene som testes.

Videre presenterer vi det matematiske oppsettet av modellen. Det må også nevnes at modellen har en begrensning (beskrænkning) i forhold til at diesel liten, ikke kan velges for rute 6 og 7, som forutsatt i kapittel 3.2. I målfunksjonen illustrerer vi beslutningsvariablene og deres tilhørende kostnader som vi kaller kostnadsparametere. Kostnadsparametrene er direkte hentet fra beregningene til kostnadsmodellen som vi beskrev i kapittel 4.1, for hver av rutene og for hver lastebiltype. I alt er det 35 beslutningsvariabler. Kun syv av beslutningsvariablene vil ha en verdi lik 1, mens de resterende vil være lik 0.

Kjøretøy og ruter

i: mengden med kjøretøy [1..n], det vil si kjøretøyene: [Diesel liten, Diesel stor, Biogass, Elektrisk, Hydrogen]

j: mengden med ruter [1..m], det vil si rutene: [rute 1, rute 2, rute 3, rute 4, rute 5, rute 6, rute 7]

Beslutningsvariabler

$X_{ij} = 1$ hvis kjøretøy i er tilordnet rute j, ellers 0.

Kostnadsparametere (objektfunksjonskoeffisienter)

K_{ij} : kostnad når kjøretøy i kjører rute j

Målfunksjon

$$\text{Minimere } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m K_{ij} X_{ij}$$

Ikke negativitetsbeskrankning:

$$X_{ij} \geq 0$$

Tilleggsbeskrankning (diesel liten kan ikke kjøre på rute 6 og 7):

$$X_{16} = 0$$

$$X_{17} = 0$$

Beskrankning (likhetsbeskrankning): alle m ruter må tildeles en bil

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = 1 \text{ for } j=1, 2, \dots, n$$

Beskrankninger på kjøretøy

Beskrankningene gjør at modellen allokere en liten diesel-lastebil, to store diesel-lastebiler, to biogass-lastebiler, en elektrisk lastebil og en hydrogen-lastebil til de syv rutene (Blandet kjøretøypark).

$$\sum_{j=1}^n X_{1j} = 1$$

$$\sum_{j=1}^n X_{2j} = 2$$

$$\sum_{j=1}^n X_{3j} = 2$$

$$\sum_{j=1}^n X_{4j} = 1$$

$$\sum_{j=1}^n X_{5j} = 1$$

4.3 Scenarioer for kjøretøypark

Hvilke biler Miniekspress benytter seg av i fremtiden kan endres, og vi ønsket å teste hvilken effekt forskjellige kjøretøyparker (forskjellige beskrankinger i optimaliseringsmodellen) har. Derfor ble det i tillegg til Blandet kjøretøypark, også kjørt analyse med forskjellige sammensetninger av bilparken, hvor forskjellige biler er tilgjengelig. Til dette ble det benyttet modifikasjoner av modellen som ble satt opp for blandet scenario. Vi kjørte som nevnt også kostnadsmodellen, uavhengig av optimalisering. Tabell 4.5 viser en oversikt over de tre kjøretøyparkene.

Tabell 4.5: De tre scenarioene for kjøretøyparkene. Det er oppgitt i antall lastebiler av de forskjellige kjøretøytypene som kjøretøyparken inneholder. Til sammen er det syv biler for hver kjøretøypark.

Kjøretøypark	Diesel liten	Diesel stor	Biogass	Elektrisk	Hydrogen
Blandet	1	2	2	1	1
Euro VI	3	2	2	0	0
Klimanøytral	0	0	3	2	2

Som tabell 4.5 viser vil Euro VI kjøretøypark kun inneholde biler som har en Euro VI forbrenningsmotor. Miljøkostnadene vil variere for disse kjøretøyene, men de har alle samme lokale utslippkostnader. Ingen av bilene er begrenset av rekkevidde. De store diesel-lastebilene kan kjøre på alle ruter, mens de små kan ikke kjøre to av rutene.

Den klimanøytrale kjøretøyparken inneholder ikke diesel-biler, og ingen av bilene betaler for CO₂-utslipp. De elektriske lastebilene er begrenset av en rekkevidde.

4.4 Sensitivitetsanalyse

Det finnes usikkerhet i modellene i oppgaven, og for å vurdere hvor sensitiv den optimale løsningen er til endringer av variabler gjorde vi en sensitivitetsanalyse. Dette verktøyet kan også brukes til å vurdere konsekvensene av forskjellige endringer, som for eksempel prisendringer, nye lover og regler og lignende (Ragsdale, 2008, p. 136). Også for kostnadsmodellen, uavhengig av optimalisering, ble det kjørt sensitivitetsanalyser.

Sensitivitetsanalyse i praksis

En sensitivitetsanalyse kan gjøres på flere måter i Excel. I denne oppgaven gjorde vi dette ved å endre hvilke tall som beregningene baserer seg på. På denne måten kan man for eksempel finne ut av hvordan en økning i CO₂-prisen vil påvirke resultatet. Dette fører til en økning av miljøkostnaden. Hvor stor økingen eller reduksjonen må være finner man ut ved å prøve seg frem. Dette er en måte vi benyttet oss av for flere av elementene i beregningen, ettersom det finnes mange usikkerhetsmomenter.

Vi ønsket å se hvordan flere forskjellige faktorer påvirker resultatet, og belyse hvilke av disse som har størst effekt dersom de endres.

Microsoft Excel har også sin egen innebygde sensitivitetsanalyse som kan brukes i Solver-funksjonen i Excel. Denne kan blant annet se på objektfunksjonskoeffisientene i optimaliseringsmodellen og gi ut en sensitivitetsrapport. I optimaliseringsmodellene vi har satt opp, er kostnadsparametrene det samme som objektfunksjonskoeffisientene. I sensitivitetsrapporten til Excel kan man finne tillatt økning og reduksjon for kostnadsparametrene, før den optimale løsningen endres eller om andre løsninger også er optimale (Hillier & Hillier, 2014). Vi ønsket å måle effekten av endringer på de underliggende beregningene for kostnadsparametrene på modellen. Vi valgte derfor å gjøre dette manuelt, istedenfor å se på Excels sensitivitetsrapport. Med dette mener vi at modellen kjøres for ulike verdier av parametre som testes for sensitivitet. Nærmere forklart vil det si at vi ser på sensitivitet i verdiene til beregningene som ligger bak kostnadsparametrene i modellen. Vi ser ikke på tillatt økning eller reduksjon i denne oppgaven, men tester bare for ulike verdier av kostnadsparametre, for å finne de optimale løsningene.

Da vi kjørte sensitivitetsanalyse på kostnadsmodellen, ble det kun benyttet kostnadsberegninger, og ikke Solver-funksjonen i Excel. Ved sensitivitetsanalysen på kostnadsmodellen ble det derfor ikke benyttet optimalisering.

Sensitivitetsanalysen foregikk ved at vi testet for trinnvise økninger av parametre som lå bak beregningene til kostnadsparametrene. Det vil si at vi økte med en viss verdi på parametrene mellom hver gang modellen ble kjørt. Sensitivitetsanalysen ble basert på løsningene som kommer frem ved hver trinnvis økning i verdiene som testes for sensitivitet. Kostnadsmodellen ble også kjørt for sammenlignbare trinnvise økninger i parametrene.

I sensitivitetsanalysen så vi på endring av miljøkostnader, som beskrevet i avsnittet «sensitivitet».

Det ble også sett på hvilke faktorer som ga størst relativ innvirkning på kostnadsmodellen, sett bort fra miljøkostnader. Resultatet vises i tabell 4.6 nedenfor. Her ble det testet med 20 prosent økning og reduksjon i faktorene hydrogenpris, rekkevidde for elektriske lastebiler, pris på hurtiglading, pris på vanlig lading (på terminalen til Miniekspress), biogasspris og dieselpri. Det ble gjort ved å allokere den enkelte kjøretøytype på hver av rutene (for diesel liten ble denne bare allokert til de fem rutene denne kan kjøre på) samtidig, og se på de faktorene som hadde innvirkning for det valgte kjøretøyet. Basert på disse resultatene, har vi foretatt sensitivitetsanalyse for hydrogenpris og rekkevidde, som beskrevet i 4.4.1. Vi utførte også simuleringer på disse to faktorene, som beskrevet i kapittel 4.4.5.

Når det gjelder prisen på biogass, prisen på lynlading, prisen på vanlig lading (på terminalen til Miniekspress) og dieselpri, så vi at disse faktorene hadde noe mindre relativ betydning på kostnadene i kostnadsmodellen (tabell 4.6). Det blir likevel utført en kort sensitivitetsanalyse av disse faktorene, som beskrevet i kapittel 4.4.4. I tabell 7B til 10B i vedlegget vises det at endringen i disse faktorene ikke vil påvirke allokeringen av kjøretøy i en Blandet kjøretøypark, og derfor har vi ikke gjort videre analyse av disse faktorene.

Tabell 4.6: Prosentvis (%) endring i kostnader i kostnadsmodellen ved 20 prosent økning og reduksjon. 20 prosent endring fra rekkevidde på 200 kilometer for elektrisk lastebil, hydrogenpris på 90 kroner per kilo inkludert MVA, biogasspris på 15,6 kroner per kilo, dieselpri på 10,06 kroner per liter (fratrukket CO₂-avgift), lynladingspris på 3,99 kroner per kWh og pris på vanlig lading (på terminalen til Miniekspress) til 0,3324 kroner per kWh. Alle priser er oppgitt ekskludert MVA, bortsett fra prisen på hydrogen som er inkludert MVA. Kostnadsmodellen kjøres ved at forskjellige kjøretøytyper er allokert til alle rutene samtidig. Deretter testes det hvor stor innvirkning 20 prosent endring i faktorene har på bare en og en kjøretøytype, totalt sett for alle syv ruter. Gule ruter markerer de parameterne som ga størst endring. Miljøkostnader er satt til 2021-nivå og medianestimat for CO₂-kostnader. Det er benyttet 2021-kroner i beregningen.

Kjøretøy	Parameter som endres	Kostnadsendring i kostnadsmodellen ved 20% reduksjon i parameter	Kostnadsendring i kostnadsmodellen ved 20% økning i parameter
Elektrisk lastebil	Rekkevidde	19,9% Økning	11,5% Reduksjon
Elektrisk lastebil	Pris på lynlading	2% Reduksjon	2% Økning
Elektrisk lastebil	Pris på vanlig lading	0,3% Reduksjon	0,3% Økning
Hydrogen-lastebil	Hydrogenpris	5% Reduksjon	5% Økning
Biogass-lastebil	Biogasspris	3,6% Reduksjon	3,6% Økning
Diesel liten lastebil	Dieselpri	2,6% Reduksjon	2,6% Økning
Diesel stor lastebil	Dieselpri	2,4% Reduksjon	2,4% Økning

4.4.1 Sensitivitet på CO₂-kostnader og lokale utslippskostnader

Vi så på effekten av økte CO₂-kostnader i henhold til den årlige økningen i karbonprisbanen til IPCC. Her finnes det tre alternativ og vi så på effekten av medianestimatene og første og tredje kvartil. Det ble utført analyse fra 2021 og frem til 2030, hvor prisen på CO₂-utslipp er satt til å øke frem mot 2030. Vi så samtidig på effekten av realprisjustering for lokale utslippskostnader med hensyn på BNP-vekst per innbygger per år.

4.4.2 Sensitivitet på rekkevidden til elektrisk lastebil

Det er som tidligere nevnt i kapittel 2.2.3 stor usikkerhet rundt hvor stor rekkevidde man kan forvente av bilene i virkeligheten, da særlig knyttet til forskjellige temperaturer. Rekkevidden kan som tidligere nevnt halveres i enkelte forhold, sammenlignet med det som produsentene av bilene oppgir. Mjøsund, et al. (2018, p. 68) benytter også en 20 prosent variasjon i rekkevidden under analyse av transportalternativer. Vi belyste hvilken effekt dette hadde på kostnadene til elektrisk lastebil og transportvalget ved å undersøke trinnvise endringer i rekkevidden. Det ble testet for rekkevidder fra og med 150 til og med 310 kilometer, med 20 kilometer mellom hvert trinn vi undersøkte.

4.4.3 Sensitivitet hydrogenpris

Det er også knyttet usikkerhet til prisen på hydrogen, da produksjonskostnaden er forventet å synke dersom det selges i kommersielle volum (som beskrevet i kapittel 3.1.5). Vi gjorde også sensitivitetsanalyse på hvordan hydrogenprisen påvirker kostnadene til hydrogen-lastebil og transportvalgene. Vi testet med hydrogenpriser fra og med 10 og helt opp til 160 kroner for å få et bredt inntrykk av forskjellige hydrogen-priser. Dette ble gjort ved å teste for trinnvise økninger i hydrogenprisen, med 10 kroner mellom hvert trinn.

4.4.4 Øvrige sensitivitetsfaktorer

I kapittel 3.1.5, beskrev vi at det er forventet 20 prosent prisøkning i biogass innen 2030. I kapittel 3.1 beskrev vi også om usikkerhet i prisen på diesel, prisen på lynlading og prisen på strøm til vanlig lading (på terminalen til Miniexpress). Med bakgrunn i usikkerheten i disse parametrene, er det også utført en kort sensitivitetsanalyse for disse faktorene.

4.4.5 Simulering

Simuleringene ble foretatt direkte på kostnadsmodellen, utenom optimalisering. Det ble gjort simulering på rekkevidde for elektriske lastebiler og hydrogenpris for hydrogen-lastebiler. Simulering dreier seg om å gjøre liksomforsøk. For å kjøre simulering, er vi nødt til å kjenne sannsynlighetsfordelingen til det vi tester. Det vil også være et krav at problemet vi skal simulere, må kunne deles opp. Videre må også datamaskinen kunne lage tilfeldige tall (Løvås, 2013, p. 428). Vi benytter Microsoft Excel til simuleringen i denne oppgaven.

Hydrogenpris, er som nevnt fastsatt til 90 kroner. Det er også indikasjoner på at prisen på hydrogen kan bli noe usikker, som beskrevet i kapittel 3.1.5. NEL var som nevnt inne på at de kunne oppnå en pris på helt ned til 10 kroner per kilo, dersom de hadde tilstrekkelig kundegrunnlag. Vi vet ikke hvordan utsalgsprisen vil avhenge av en produksjonskostnad på 10 kroner per kilo, men vi velger for enkelhets skyld å sette denne til 25 kroner inkludert MVA. Med bakgrunn i dette, blir det foretatt simulering for verdier mellom 25 og 90 kroner. Vi foretar en uniform fordeling, da vi velger å anta at alle verdier mellom 25 og 90 kroner vil være like sannsynlige (Løvås, 2013).

For rekkevidde, er denne som nevnt satt til 200 kilometer som utgangspunkt i vår modell. Tidligere beskrev vi også at man regner med at rekkevidden til elektriske lastebiler vil halveres

om vinteren i Norge (Mjøsund, et al., 2018). Volvo oppga en rekkevidde på inntil 300 kilometer for elektrisk lastebil, som beskrevet i kapittel 3.1.5 (Volvotrucks, 2021). Det betyr at rekkevidden på elektriske lastebilene i verste fall kan halveres fra 300 km til 150 km. Da vi i oppgaven forutsatte en rekkevidde på 200 kilometer som utgangspunkt (se kapittel 3.2 forutsetninger), kjørte vi simuleringer med standardavvik på 50 kilometer. For simulering ved rekkevidde, benyttet vi normalfordeling av de genererte tilfeldige verdiene. 68 prosent av verdiene vil da falle innenfor en rekkevidde på 150 til 250 kilometer (Løvås, 2013).

For simulering på hydrogenpris og rekkevidde, utførte vi 2000 liksomforsøk. Kostnadsresultatene som ble beregnet ved hjelp av kostnadsmodellen ved å velge kun elektrisk lastebil for alle rutene og hydrogen-lastebil for alle rutene, ble beregnet som gjennomsnittet av liksomforsøkene. Det ble også regnet ut standardavvik for de 2000 liksomforsøkene som ble foretatt for hydrogenpris og rekkevidde. Vi presenterer gjennomsnittsverdien av simuleringene og standardavvik for simuleringene i tabell 5.10 og 5.11.

For simulering på hydrogenprisen, trenger vi altså å generere verdier som har en uniform sannsynlighetsfordeling (Løvås, 2013). Vi benyttet TILFELDIG() funksjonen i Excel til dette og genererte 2000 tilfeldige verdier mellom 90 og 25. I denne simuleringen er alle utfall mellom 90 og 25 like sannsynlige.

For å lage en simulering med normalfordelte tallverdier for rekkevidde, benyttet vi invers fordelingsfunksjon. Ved hjelp av en invers fordelingsfunksjon kan man finne den inverse av en tilfeldig verdi mellom 0 og 1. Den inverse vil i våres tilfelle representere en viss rekkevidde. Gitt at vi satt en rekkevidde på 200 kilometer som utgangspunkt (se kapittel 3.2 forutsetninger), satt vi en medianverdi for rekkevidde på 200 kilometer og standardavvik til 50 kilometer. Vi kunne da lage rekkevidde-observasjoner som var tilfeldige og normalfordelte (Løvås, 2013). I Excel kunne vi gjøre dette ved å først generere tilfeldige tall mellom 0 og 1. Til dette brukte vi TILFELDIG() funksjonen i Excel. Deretter benyttet vi Excel-funksjonen NORM.INV() til å finne de inverse verdiene av de tilfeldige verdiene.

5. Resultater og diskusjon

I dette kapitlet skal vi presentere og diskutere resultatene fra kostnadsmodellen og optimaliseringsmodellen. Først blir kostnadsmodellen presentert, denne gir grunnlag for å vurdere hvilken kjøretøysallokering som vil gi den minste kostnaden for Miniekspress. Kostnaden er beregnet for hver rute for forskjellige kjøretøy. Alle kostnadene som er beregnet er trukket fra MVA. Hydrogenprisen som er oppgitt inkluderer MVA.

For å besvare hvilken kjøretøyallokering som er best, har vi i optimaliseringsmodellen undersøkt allokeringen av tre forskjellige kjøretøyparker. Dette representerer tre forskjellige scenarioer av kjøretøyparker vi tester for i oppgaven (tabell 4.5). Det er også gjort sensitivitetsanalyse på miljøkostnader, hydrogenpris og rekkevidde. I kostnadsmodellen er det gjort simulering på rekkevidde og hydrogenpris.

I dette kapitlet er alle priser og faktorer satt slik som forklart i kapittel 3.1 og 3.2. For hydrogenpris, rekkevidde og miljøkostnader, testes disse for forskjellige verdier (sensitivitetsanalyse og simulering). I tabell 7B til 10B presenteres det også korte sensitivitetsanalyser for andre faktorer som beskrevet i kapittel 4.4. For disse vil hydrogenprisen, rekkevidde og miljøkostnader ikke variere.

5.1 Resultater fra kostnadsmodellen

Kostnadsmodellen som er satt opp, er basert på utregninger av totale kostnader for de forskjellige kjøretøyalternativene på ruten. Tabell 5.1 viser en oversikt over kostnader for å velge kjøretøyene på hver enkelt rute ved medianestimatet for miljøkostnader i 2021. En mer detaljert oversikt for alle årene finnes i tabell 1B i vedlegget. Tabell 5.2 viser den tilsvarende oversikten dersom man tar bort alle miljøkostnader, og CO₂-avgiften på diesel. Kostnadsoversikt med justerte miljøkostnader for lavt og høyt estimat finnes i tabell 2B og 3B i vedlegget.

Tabell 5.1 viser at biogass-lastebilen vil gi de laveste totale kostnadene, ved medianestimatet for miljøkostnader. Uten miljøkostnader og CO₂-avgift (tabell 5.2) er det de store diesel-lastebilene som gir de laveste totale kostnadene. De små diesel-lastebilene kan ikke kjøre alle rutene, og totalkostnadene kan derfor ikke sammenlignes med totalkostnadene for de andre kjøretøyalternativene.

Tabell 5.1: Kostnadsoversikt i 2021-kroner for de forskjellige rutene og kjøretøyene, med miljøkostnader. Miljøkostnadene er på 2021-nivå og CO2-kostnader på medianestimatet. Rekkevidden er satt til 200 kilometer for elektrisk lastebil (EL) og hydrogenprisen er 90 kroner per kilo inkludert MVA. De grønne rutene viser hvilke valg av bil som gir den laveste kostnaden. *: Diesel liten kan ikke kjøres på rute 6 og 7. Derfor er ikke kostnaden mulig å beregne på de rutene for diesel liten. Totalkostnaden vil heller ikke gi et representativt bilde for diesel liten, og er derfor utelatt.

	Med driftskostnader og miljøkostnader				
	Diesel liten	Diesel stor	Elektrisk	Biogass	Hydrogen
Rute 1	34 033	33 807	40 389	33 632	37 089
Rute 2	24 259	24 145	21 031	23 905	25 651
Rute 3	37 099	36 871	45 550	36 311	39 762
Rute 4	31 410	31 203	35 199	30 939	34 062
Rute 5	34 943	34 711	41 737	34 328	37 827
Rute 6*		51 730	76 665	50 840	55 605
Rute 7*		36 534	42 394	36 698	39 650
Totalkostnad*		<u>249 000</u>	<u>302 966</u>	<u>246 653</u>	<u>269 646</u>

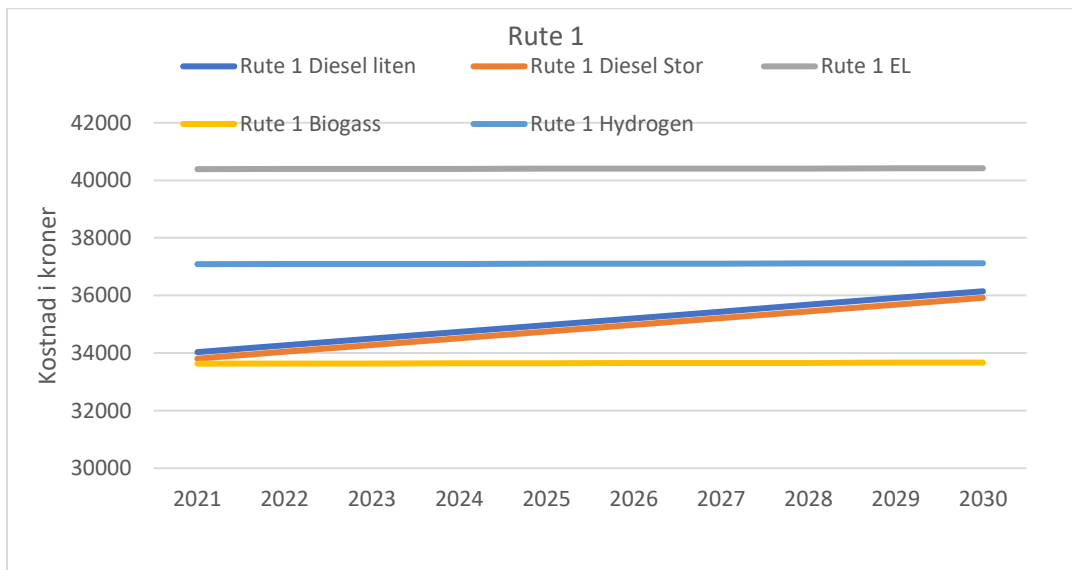
Tabell 5.2: Kostnadsoversikt i 2021-kroner for de forskjellige rutene og kjøretøyene, uten miljøkostnader. Dagens CO2-avgift er også fjernet for diesel. Rekkevidden er satt til 200 kilometer for elektrisk lastebil (EL) og hydrogenprisen er 90 kroner per kilo inkludert MVA. De grønne rutene viser hvilke valg av bil som gir den laveste kostnaden. *: Diesel liten kan ikke kjøres på rute 6 og 7. Derfor er ikke kostnaden mulig å beregne på de rutene for diesel liten. Totalkostnaden vil heller ikke gi et representativt bilde for diesel liten, og er derfor utelatt.

	Uten miljøkostnader				
	Diesel liten	Diesel stor	EL	Biogass	Hydrogen
Rute 1	32 476	32 250	40 029	33 190	36 730
Rute 2	23 496	23 382	20 882	23 714	25 501
Rute 3	35 271	35 043	44 971	35 618	39 184
Rute 4	29 622	29 415	34 564	30 187	33 427
Rute 5	32 764	32 531	40 857	33 301	36 947
Rute 6*		49 970	76 462	50 570	55 402
Rute 7*		35 231	42 103	36 340	39 358
Totalkostnad*		<u>23 7822</u>	<u>299 869</u>	<u>242 920</u>	<u>266 549</u>

Målet med å internalisere miljøkostnaden er at bedriftene skal velge den biltypen som reflekterer de samfunnsøkonomiske kostnadene. Dette kan føre til at færre velger biler med fossilt drivstoff. Vi ser at det er billigst å kjøre biogassbil på alle rutene med miljøkostnader for 2021 (tabell 5.1), med ett unntak av rute 7 og 2. I rute 2 er elektrisk lastebil billigst og for rute 7 er diesel stor billigst. Biogassbil blir billigere enn diesel på alle ruter ved medianestimatet for miljøkostnader i 2022 (tabell 1B i vedlegget). I tabell 5.2 uten miljøkostnader kunne vi også se at elektrisk lastebil var billigst for rute 2, men stor diesel vil bli billigst for resten av rutene. Med dette kan vi derfor se at miljøkostnadene påvirker hvilke lastebiler som er billigst å kjøre på de fleste rutene.

5.1.1 Endring av miljøkostnader

Videre har vi også i kostnadsmodellen sett på hvordan kostnader for lastebilalternativene påvirkes av variasjon i miljøkostnadene. Her ser vi på samfunnsøkonomiske kostnader. I figur 5.1 illustreres det hvordan kostnaden utvikler seg for rute 1. Tilsvarende figurer for resterende ruter finnes som figur 1B til 6B i vedlegget. For miljøkostnadene ser vi på økning i disse fra 2021 til 2030. CO₂-kostnaden øker med medianestimatet. Hydrogenpris er satt til 90 kroner per kilo og rekkevidde for elektriske lastebiler til 200 kilometer.



Figur 5.1: Kostnadsutvikling i 2021-kroner for rute 1 ved realprisjustering for lokale utslippskostnader og økning av CO₂-kostnaden ved medianestimatet fra 2021 til 2030. Hydrogenprisen er 90 kroner per kilo inkludert MVA og rekkevidden er satt til 200 kilometer for elektrisk lastebil (EL).

I Figur 5.1 for rute 1, ser man at kostnadene for diesel-lastebilene øker ved en økning i miljøkostnadene. For hydrogen- og elektriske lastebiler er det som nevnt kun lagt til kostnader for svevestøv. For biogass-lastebiler er det i tillegg lagt til kostnader ved NO_x-utslipp. I alle rutene bortsett fra rute 2, har elektriske lastebiler høyest kostnad, etterfulgt av hydrogen-lastebil for årene 2021 til og med 2030. Ser vi bort fra rute 2, stiger kostnaden for diesel-lastebilene gradvis og nærmer seg kostnaden for hydrogen-lastebil i 2030. Biogass-lastebil har den laveste kostnaden i perioden 2021 til 2030 for alle rutene bortsett fra rute 2 og 7. For rute 7 blir biogass billigst med miljøkostnader på 2022-nivå (figur 6B i vedlegg).

Miljøkostnader

Tabell 5.3: Miljøkostnader ved å velge de forskjellige kjøretøysalternativene for de syv rutene. Miljøkostnadene er på 2030-nivå, regnet med medianalternativet for utvikling av CO₂-kostnaden. Hydrogenprisen er 90 kroner per kilo inkludert MVA og rekkevidden er satt til 200 kilometer for elektrisk lastebil (EL). Kostnadene er oppgitt i 2021-kroner. De grønne rutene viser hvilke valg av bil som gir den laveste kostnaden. *: Diesel liten kan ikke kjøres på rute 6 og 7. Derfor er ikke kostnaden mulig å beregne på de rutene for diesel liten. Totalkostnaden vil heller ikke gi et representativt bilde for diesel liten, og er derfor utelatt

	Diesel liten	Diesel stor	EL	Biogass	Hydrogen
Rute 1	3 670	3 670	390	479	390
Rute 2	1 845	1 845	162	207	162
Rute 3	4 003	4 003	627	751	627
Rute 4	3 781	3 781	688	816	688
Rute 5	4 413	4 413	954	1 113	954
Rute 6*		4 557	220	292	220
Rute 7*		3 093	316	388	316
Totalkostnad*		25 362	3 357	4 045	3 357

Miljøkostnadene baserer seg på marginale tiltakskostnader for å få ned transportutslippene, som beskrevet i kapittel 2.2. Miljøkostnadene er derfor høyere om utslippene er høye eller dyre å kutte. Miljøkostnadene vises i tabell 5.3, og de er størst for diesel-bilene som må betale CO₂-avgift i tillegg til kostnader ved lokale utslipp av NO_x, SO₂ og svevestøv. Biogass-bilen må også betale for NO_x, SO₂ og svevestøv. Den elektriske lastebilen og hydrogenlastebilen er bare satt til å betale for svevestøv. Kostnadene i tabell 5.3 er oppgitt for år 2030, dersom CO₂-prisen utvikler seg etter medianestimatet. Med disse kostnadene har elektriske lastebiler og hydrogenlastebilene 14 355 kroner mindre i miljøkostnader på rutene hver uke enn de store diesel-lastbilene. Biogass har 688 kroner mer i miljøkostnader enn elektrisk- og hydrogen lastebil per uke for alle rutene samlet. De små diesel-lastebilene kan som nevnt ikke kjøre på rute 6 og 7, og er derfor ikke med i en total kostnadssammenligning.

Økning av karbonprisen

I figur 5.1 og 5.2 så vi at dieselbilene er bilene som blir mest påvirket av en økning i miljøkostnadene frem mot 2030. Dersom økningen i miljøkostnadene følger medianestimatet for karbonprisbanen, vil det ikke bli dyrere med diesel enn med elektriske- og hydrogenlastebiler, med unntak av for rute 2 hvor elektrisk alltid er billigst. Dersom utviklingen følger det høye estimatet for miljøkostnadene, blir hydrogen-lastebilene billigere enn diesel-lastebilene på alle ruter i 2025 (tabell 3B i vedlegget). I 2030, med høyt estimat av

CO₂-kostnadene, vil elektriske lastebiler bli billigere enn diesel for fem av syv ruter (tabell 3B i vedlegget). Økningen i karbonprisen må altså være høyere enn medianestimatet for å kunne påvirke når elektriske- og hydrogenlastebiler vil være mer kostnadseffektive enn diesellastebilene på rutene.

Som tidligere nevnt, var Li, et al., (2018) inne på at ved å ta vekk miljøkostnadene i Hong Kong-caset for hver av buss-typene, ville dette føre til at den daglige kjøredistansen måtte økes ytterligere for at elektriske busser skulle bli lønnsomme. For elektriske lastebiler var det imidlertid bare inkludert kostnader for CO₂ i denne studien. Kjøpskostnadene var også inkludert, slik at dette ikke blir helt sammenlignbart med elektriske lastebiler i våre modeller. På den annen side, indikerer studien at det blir dyrere med elektrisk buss i forhold til de andre busstypene i studien, dersom miljøkostnaden fjernes for alle busstypene. Ved å redusere miljøkostnaden, så vi i våre resultater at elektriske lastebiler gradvis blir mindre kostnadseffektive på de fleste rutene i motsetning til diesel-lastebiler (se figur 5.1 og figur 1B til 6B i vedlegget). Dette skjer fordi en redusert CO₂-kostnad gjør at diesel-lastebiler får den største kostnadsreduksjonen, ved å ta bort miljøkostnader.

Lokale miljøkostnader

Miljøkostnadene til hydrogendrevne og elektriske lastebiler kommer bare fra svevestøv. Biogassbiler og dieslbiler må også betale for utslippene av svevestøv, NO_x og SO₂ fra forbrenning av drivstoff. De har derfor høyere lokale miljøkostnader enn elektriske- og hydrogen-lastebiler. Dette vises i tabell 5.3. Biogass-lastebilene betaler, i likhet med elektriske- og hydrogenlastebiler, bare lokale miljøkostnader. De lokale miljøkostnadene er 20 prosent høyere for biogassbiler og dieslbiler enn for hydrogen og elektriske lastebiler, regnet i 2030-nivå.

Prisen for de lokale miljøkostnadene stiger også noe fremover mot 2030. De stiger derimot betydelig mindre enn CO₂-kostnadene, ettersom de bare justeres for vekst i BNP-en, som beskrevet i kapittel 3.1.7.

5.1.2 Ruter og områdetyper

Rutene kjører innom forskjellige områdetyper. I rutene vi har sett på er det tre kommuner som blir regnet som et stort tettsted, som har den høyeste miljøkostnaden å kjøre inn i. Kommunene dette gjelder er Oslo, Drammen og Bærum. Det er rute 5 som har den lengste kjøredistansen i

denne områdetypen. 25 prosent av ruten blir kjørt i denne områdetypen, og det utgjør 411 kilometer. For rute 5 er det billigst å kjøre biogasslastebil, dersom vi inkluderer miljøkostnader på 2021-nivå med medianestimatet, en hydrogenpris på 90 kroner og rekkevidde på 200 kilometer (tabell 5.1).

Biogasskjøretøy har større lokale utslipp enn hydrogen og elektriske kjøretøy, og dermed høyere miljøkostnader. Miljøkostnadene for biogasskjøretøy er så lave at de ikke kan kompensere for at hydrogen- og elektriske lastebiler har mye høyere drivskostnader på denne ruten. Å bytte fra biogass- og diesellastebiler til hydrogen og elektriske lastebiler vil altså øke kostnaden, selv om disse er bedre for nærmiljøet. For at det skal bli like billig å kjøre hydrogen- og elektrisk-lastebil som biogasslastebil, miljøkostnaden opp fra den som er gitt i tabell 5.1 for biogass, med henholdsvis 3 400 og 7 409 kroner per uke for rute 5, om ikke rekkevidden for elektriske lastebiler øker og hydrogenprisen synker.

Som nevnt er det i Nasjonal Transportplan planlagt å utrede opprettelse av nullutslippsoner (Det Kongelige Samferdselsdepartement, 2021). Nullutslippsonene skal først og fremst hindre fossilbiler å kjøre inn. Det skal også vurderes om biogasskjøretøy heller ikke kan kjøre inn hit. Nullutslippssonene skal opprettes i områder vi omtaler som store tettsted (Det Kongelige Samferdselsdepartement, 2021). I vår modell vil alle rutene utenom rute 2 og 6 kjøre innom områdetypen store tettsted. I vår kostnadsmodell ser vi at biogass-biler vil stort sett være de bilene som er billigst å kjøre, med unntak av rute 2 og 7, dersom vi inkluderer miljøkostnader på 2021 nivå (tabell 5.1). Det viser at miljøkostnadene ikke er store nok til at det vil redusere totalkostnadene for Miniekspress ved å bytte ut biogassbilene på disse rutene med hydrogen- og elektriske lastebiler.

For rute 2 vil det i alle våre resultater være den elektriske lastebilen som er billigst å kjøre. Det ser vi ser i tabell 5.1 og 5.2, som viser kostnaden for forskjellige kombinasjoner av kjøretøy og ruter, med og uten miljøkostnader. Fra tabell 3.1 i datakapittelet ser vi også at rute 2 er den korteste ruten, og er bare 793 kilometer lang. Til sammenligning kan vi se på rute 6, som er den lengste ruten (tabell 3.1). Her vil den elektriske lastebilen ha den desidert høyeste kostnaden, både med og uten miljøkostnader (tabell 5.1. og 5.2). Lengden på ruten ser derfor ut til å påvirke om de elektriske lastebilene er billigst å sette på ruten eller ikke.

Bompenger

Det er varierende bompenggekostnader på rutene. Dette er en kostnad som bare blir gjeldende dersom det er diesel som kjører rutene, ettersom de andre kjøretøytypene er fritatt fra bompenger i denne oppgaven. Fra tabell 8A i vedlegget ser vi at rute 6 har den høyeste bompenggekostnaden og rute 7 den laveste. Rute 6 er også den lengste ruten, mens rute 7 er nest kortest av alle rutene. Fra tabell 5.1 ser vi at rute 7 er den eneste ruten hvor diesellastebil er billigere enn biogasslastebil, ved miljøkostnader etter 2021 medianestimatet for CO₂-kostnader. Tabell viser også at rute 6, med mest bompenger er den ruten som har størst differanse mellom prisen for å kjøre biogass- og diesellastebil. Dette indikerer at bompenger påvirker hvilke biltyper som er billigst å kjøre for de forskjellige rutene, ved at diesellastebil blir relativt sett dyrere for ruter med høy bompenggekostnad.

5.2 Resultater fra optimaliseringsmodellen

Vi brukte optimalisering for å se på hvilke kjøretøy som allokeres til de forskjellige rutene ved en gitt kjøretøypark. Da vil plasseringen av kjøretøy ikke bare avhenge av kostnaden til enkeltkjøretøy, men også hvilke andre kjøretøy som er tilgjengelige. Optimaliseringen fungerer slik at den velger en løsning som totalt sett minimerer kostnaden for alle de syv rutene. Derfor velger ikke alltid modellen den bilen som gir det billigste alternativet for hver enkelt rute. Hvor høy kostnaden blir avhenger også av hvilke kjøretøy som er tilgjengelige i bilparken. Vi så noe forskjell i allokeringen for de forskjellige kjøretøyparkene.

5.2.1 Blandet kjøretøypark

I en Blandet kjøretøypark allokeres en liten diesel-lastebil, tre store diesel-lastebiler, to biogasslastebiler og en hydrogenlastebil for å gi en lavest mulig total kostnad. Tabell 5.4 viser utvalgte resultater av hvordan kjøretøysallokeringen blir påvirket av en økning i miljøkostnader, med forskjellig estimat for CO₂-kostnader i år 2021, 2025 og 2030. En fullstendig oversikt finnes i tabell 4B i vedlegget. Rekkevidden på de elektriske lastebilene er satt til 200 kilometer, og hydrogenprisen 90 kroner per kilo.

Tabell 5.4: Kjøretøysvalg inkludert kostnader for endringer i miljøkostnadene fra 2021 til 2030 med de tre scenarioene median, høy og lav for CO₂-kostnadene, med blandet kjøretøypark. Hydrogenpris er satt til 90 kroner per kilo inkludert MVA og rekkevidde til 200 kilometer for elektrisk lastebil (EL). Under feltet «uten miljøkostnader» er miljøkostnadene, inkludert dagens CO₂-avgift på diesel fjernet. De gule rutene markerer hvor kjøretøysallokeringen endres. Kostnaden er oppgitt i 2021-kroner.

	2021	2025		2030			Uten miljøkostnader
	Median	Median	Høy	Median	Høy	Lav	
Rute 1	Diesel liten	Diesel liten	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel liten	Diesel liten
Rute 2	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
Rute 3	Biogass	Biogass	Hydrogen	Hydrogen	Hydrogen	Biogass	Biogass
Rute 4	Hydrogen	Hydrogen	Diesel liten	Diesel liten	Diesel liten	Hydrogen	Hydrogen
Rute 5	Diesel stor	Diesel stor	Biogass	Biogass	Biogass	Diesel stor	Diesel stor
Rute 6	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass
Rute 7	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor
Kostnad ved allokering	<u>247 522</u>	<u>250 312</u>	<u>259 667</u>	<u>253 778</u>	<u>270 757</u>	<u>251 883</u>	<u>240 736</u>

Ruteallokeringen for rute 2, 6 og 7 påvirkes ikke av. Det er likevel verdt å legge merke til at total kostnaden ved allokering stiger med 5,43 prosent fra et scenario hvor ingen miljøkostnader er medregnet, sammenlignet med et høyt alternativ for CO₂-kostnaden i 2030. En ny allokering vil fortsatt søke å minimere total kostnaden, Det viser at selv om allokeringen endrer seg, så vil total kostnaden gå opp ved økende miljøkostnader.

Det skjer et skifte av allokerte kjøretøy ved det høye estimatet for CO₂-kostnader i 2025. Da har karbonprisen steget med 482 prosent. Hvilke kjøretøy som er satt på de forskjellige rutene, endrer seg for rute 1, 3, 4 og 5 mellom medianestimatet og et høyt estimat for 2025. Det er altså disse fire rutene som blir påvirket av en økning i CO₂-prisen. Allokeringen endres på samme måte for median- og høy CO₂-pris for 2030. I medianestimatet for 2030 har karbonprisen økt

med 286 prosent. Derfor er medianestimatet for 2030 den laveste endringen i karbonpris som påvirker allokeringen.

I kostnadsmodellen kommer skiftet for hvilken bil som er billigst i år 2022 med medianestimat for CO₂-kostnader, altså lenge før hvor skiftet kommer i 2030 for optimaliseringsmodellen. Dette indikerer at allokeringen i stor grad påvirkes av kostnadene til de andre kjøretøyene i modellen.

Hydrogen-lastebilen ble allokert til rute 4, når vi så bort fra miljøkostnader. Uten miljøkostnader, vil hydrogen-lastebil på rute 4 være det nest dyreste etter elektriske lastebilen. Det ser vi fra kostnadsmodellen (tabell 5.2). Ved et høyt estimat for miljøkostnadene vil hydrogenbilen være nest billigst i 2030 (tabell 3B i vedlegget). Biogasslastebilen vil være den billigste.

5.2.2 Euro VI kjøretøypark

Dette scenarioet inkluderer to biogass-kjøretøy, tre små dieselbiler og to store dieselbiler. Tabell 5.5 viser hvordan disse kjøretøyene allokeres på rutene i fire forskjellige situasjoner. Resultatet viser at bilene blir satt på de samme rutene for medianestimatet av karbonprisingen og lokale utslippskostnader for 2021, 2025 og 2030. For Euro VI scenariet ser vi kun på medianestimatet for karbonprisingen. Når miljøkostnadene øker i årene fremover så øker også de totale kostnadene. Det viser at det ikke vil være mulig å unngå en økning i totalkostnaden ved å allokere kjøretøyene til nye ruter, dersom vi skal beholde denne kjøretøyparken.

Tabell 5.5: Sensitivitetsanalyse for endringer i miljøkostnaden fra 2021 til 2030, med Euri VI kjøretøypark. Miljøkostnadene varierer mellom 2021-, 2025-, og 2030-nivå, der CO2-kostnaden er på medianestimatet. Rekkevidde er satt til 200 kilometer for elektrisk lastebil (EL) og hydrogenprisen til 90 kroner per kilo inkludert MVA. Kostnadene er oppgitt i 2021-kroner. Under feltet «uten miljøkostnader» er miljøkostnadene, inkludert dagens CO2-avgift fjernet. Gule felt markerer ett skifte i kjøretøysallokeringen.

	Miljøkostnader			Uten miljøkostnader
	2021	2025	2030	
Rute 1	Diesel liten	Diesel liten	Diesel liten	Diesel liten
Rute 2	Diesel liten	Diesel liten	Diesel liten	Biogass
Rute 3	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass
Rute 4	Diesel liten	Diesel liten	Diesel liten	Diesel liten
Rute 5	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel liten
Rute 6	Biogass	Biogass	Biogass	Diesel stor
Rute 7	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor
Kostnad ved allokering	<u>248 097</u>	<u>252 224</u>	<u>257 388</u>	<u>239 395</u>

I tabell 5.5 kan kjøretøysallokeringen sammenlignes med den man får dersom miljøkostnadene ikke tas med. Rute 2, 5 og 6 blir kjørt av et annet kjøretøy dersom miljøkostnadene fjernes. Vi ser nærmere på hvordan dette påvirker biogasslastebilen. Biogasslastebilen blir satt på den korteste ruten, rute 2, om miljøkostnadene fjernes. Biogasslastebilen er dyrere å kjøre enn diesel på rute 2 (tabell 5.2), og er dermed det dyreste alternativet her.

Dersom vi tar inn miljøkostnadene i modellen vil biogassbilen vil bli flyttet til rute 6. På rute 6 har biogass-lastebilen lavere kostnad enn dieselbilen, og er billigst. Rute 6 er også den lengste ruten. Dermed blir altså biogassbilen flyttet fra den korteste til den lengste ruten ved å ta med miljøkostnadene. Vi kan derfor si at en reduksjon av miljøkostnader kan påvirke kjøretøysallokering ved en kjøretøypark som bare inkluderer euro VI-lastebiler.

5.2.3 Klimanøytral kjøretøypark

Resultatene for et scenario med bare klimanøytrale kjøretøy er vist i tabell 5.6. Her er det tre biogassbiler, to elektriske lastebiler og to hydrogenlastebiler som skal allokere på de syv rutene. Tabellen viser økning av miljøkostnadene fra 2021 til 2030. Miljøkostnadene fra denne kjøretøyparken kommer bare komme fra lokale utslipp.

Resultatet i tabell 5.6 viser at kostnaden ved allokering øker med 283 kroner ved å øke miljøkostnadene fra 2021 til 2030. Økningen er relativt beskjeden sammenlignet med de to

andre kjøretøypark-scenarioene. Her var økningen på 6 256 og 9 291 kroner for Blandet og Euro VI, i tilsvarende tidsperiode.

Tabell 5.6 viser at den samme allokeringen av kjøretøy er optimal for de tre situasjonene som inkluderer miljøkostnadene. I situasjonen hvor miljøkostnadene ikke er med, skjer det en omallokering på rute 1 og 3. Her bytter biogass- og hydrogen-lastebil plass, slik at hydrogen-lastebilen kjører rute 1 og biogass-lastebilen kjører rute 3. Biogass har 124 kroner høyere miljøkostnader for rute 3 enn hydrogen, oppgitt i 2030-nivå (tabell 5.3). Både rute 1 og 3 kjøres hovedsakelig i middels tettsted. Fra tabell 3.1 i datakapittelet ser vi at kjøring i stort tettsted utgjør 12 prosent av rute 3, mens for rute 1 er det 5 prosent. Dette viser at de lokale utslippskostnadene påvirker kjøretøysallokeringen ved at biogass blir i noen grad valgt bort fra ruter som kjører i store tettsteder.

Tabell 5.6: Sensitivitetsanalyse for en kjøretøypark med bare klimanøytrale kjøretøy, gitt realprisjustering frem mot 2030 av miljøkostnadene. Under feltet «uten miljøkostnader» er miljøkostnadene, inkludert dagens CO₂-avgift fjernet. Hydrogenprisen er satt til 90 kroner per kilo inkludert MVA og rekkevidde for elektriske lastebiler (EL) til 200 kilometer. Kostnaden er oppgitt i 2021-kroner. Gule felt markerer ett skifte i kjøretøysallokeringen.

	Miljøkostnader			Uten miljøkostnader
	2021	2025	2030	
Rute 1	Biogass	Biogass	Biogass	Hydrogen
Rute 2	EL	EL	EL	EL
Rute 3	Hydrogen	Hydrogen	Hydrogen	Biogass
Rute 4	EL	EL	EL	EL
Rute 5	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass
Rute 6	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass
Rute 7	Hydrogen	Hydrogen	Hydrogen	Hydrogen
Totalkostnad	<u>254 443</u>	<u>254 566</u>	<u>254 726</u>	<u>251 023</u>

Allokeringen av kjøretøy blir ikke påvirket av oppjusteringen av kostnaden for de lokale utslippskostnadene, utover år 2021. Kostnaden for lokale utslipp justeres fremover mot 2030, med BNP-vekst, som beskrevet i kapittel 3.1.7.

5.2.4 Sammenligning av kjøretøyparkene

Når vi sammenligner resultatene fra de forskjellige kjøretøyparkene ser vi bare på median-utviklingen CO₂-kostnader, der de er relevante. Dersom vi vurderer rutene med 2030 miljøkostnader, en Blandet kjøretøypark være billigst. Euro VI kjøretøyparken er dyrest. Vi ser

i tabell 5.4, 5.5 og 5.6 at totalkostnaden for Euro VI scenarioet vil være 3 610 kroner høyere enn for Blandet kjøretøypark i 2030. Klimanøytral kjøretøypark vil være 948 kroner dyrere enn Blandet kjøretøypark i 2030. Det er altså Euro VI kjøretøyparken som er desidert dyrest i 2030 med miljøkostnader på 2030-nivå.

Ammenberg (2017) og medforfattere understreker at det er nødvendig å ta i bruk flere typer lastebiler for å oppnå utslippskutt i transportsektoren. Dette bygger opp mot at vi fant at en Blandet kjøretøypark vil bli billigst, ettersom den inneholder flest lastebiltyper. Om det vil være mulig å erstatte diesel med biogass-, hydrogen- eller elektriske lastebiler må vurderes ut ifra ruten og hvilke behov transporten skal dekke. Det er også en vurdering av hvilken type lastebil som passer inn i rutene. Dette må avveies med tanke på behov og kostnader, og det beste resultatet vil kreve flere typer kjøretøy. Det blir best belyst når vi bruker Blandet kjøretøypark, som vi ser gir den billigste ruteallokeringen totalt sett.

Dersom vi regner med miljøkostnader i medianestimatet, vil Blandet kjøretøypark være billigst for alle årene. For Blandet kjøretøypark utgjør miljøkostnadene 5 prosent av totalkostnaden ved allokering i 2030 (tabell 5.4). For klimanøytralt scenarioet utgjør det bare 1 prosent av kostnadene (tabell 5.6), mens for Euro VI scenario vil det utgjøre 7 prosent av totalkostnaden (tabell 5.5). Miljøkostnaden utgjør altså 6 786 kroner for Blandet kjøretøypark, 3 703 kroner for Klimanøytral kjøretøypark og 17 993 kroner for Euro VI kjøretøypark. Vi ser altså at totalkostnaden stiger minst for klimanøytral kjøretøypark fremover, siden CO₂-prisen utgjør størstedelen av miljøkostnadene, og ingen av kjøretøyene i klimanøytral kjøretøypark inkluderer CO₂-kostnader. Euro VI kjøretøyparken blir klart mest påvirket av en økning av miljøkostnader, frem mot 2030.

I tabell 5.4 og 5.6 for Blandet kjøretøypark og Klimanøytral kjøretøypark vil vi finne flere likheter. Det viser seg et interessant mønster for rute 3 og 5. For rute 3 ser vi at biogassbilen blir erstattet av en hydrogenbil for begge scenarioene. Det som skiller seg ut er at i klimanøytralt scenario vil biogassbilen være erstattet allerede ved 2021-miljøkostnader, sammenlignet med ingen miljøkostnader. For Blandet kjøretøypark skjer dette først når miljøkostnadene har kommet opp på 2030-nivå med medianestimatet. Noe av det samme skjer for rute 5. Her vil biogassbilen alltid bli allokert hit ved klimanøytralt scenarioet. I Blandet kjøretøypark vil biogassbilen erstatte en stor dieselbil ved 2030-kostnadsnivå, dersom det ligger på medianestimatet. Noen av de samme endringene vil altså skje med både Klimanøytral og Blandet kjøretøypark. Skiftet skjer ved lavere miljøkostnader ved et klimanøytralt scenario, enn ved et Blandet scenario. Ut ifra dette kan vi si at ved å sette mål om antall klimavennlige

lastebiler, som for eksempel er gjort i nasjonal transportplan, tvinge frem noe av de samme endringene i kjøretøysallokering som ved å øke miljøkostnaden.

Uten miljøkostnadene er det Euro VI scenarioet som kan gi den rimeligste sammensettingen. Den vil gi en sammensetting som er 1 341 kroner rimeligere enn Blandet scenario.

Forskjellen mellom kostnaden for å bruke kjøretøyparken i Euro VI og Klimanøytral kjøretøypark er stor dersom det ikke medregnes miljøkostnader (tabell 5.5 og 5.6). Uten miljøkostnader vil Euro VI kjøretøyparken være 11 628 kroner billigere i uka for de syv rutene. Den eneste bilen som blir plassert på samme rute i disse to scenarioene er biogassbilen på rute 3. Ellers har alle rutene ulike kjøretøy for de to scenarioene. Det er logisk at de to kjøretøysallokeringene har få likheter, ettersom den eneste bilen som er i begge kjøretøyparkene er biogassbilen.

5.3 Viktige påvirkningsfaktorer

Som tidligere beskrevet kan hydrogenprisen synke, men det er usikkert hvor mye og når dette vil skje (kapittel 3.1.5). For elektriske lastebiler er det også knyttet stor usikkerhet til rekkevidden (kapittel 2.2.3). Hydrogenprisen og rekkevidden for elektrisk lastebil var de parameterne som hadde størst betydning i kostnadsmodellen, som illustrert i tabell 4.6. Etterfulgt av hydrogenpris og rekkevidde, var det prisen på biogass som hadde den største innvirkningen på kostnadsmodellen i tabell 4.6. Biogass-lastebil er klimanøytralt på lik linje med elektrisk- og hydrogen-lastebil. Vi starter derfor med en diskusjon rundt biogass-lastebil, før vi går nærmere inn på hydrogenpris for hydrogenlastebil og rekkevidden til elektrisk lastebil. For prisen på biogass, prisen på diesel, prisen på vanlig lading (på terminalen til Miniekspress) og prisen på lynlading, kan vi i tabell 7B til 10B i vedlegget se en kortfattet sensitivitetsanalyse, der det er fokusert på disse. Vi så at ingen av disse faktorene førte til endring i allokering i Blandet kjøretøypark.

5.3.1 Biogass

Ved en biogasspris på 15,6 kroner, vises det i kostnadsoversikten uten miljøkostnader (tabell 5.2) at en allokering av kun biogass-lastebiler ville vært dyrere enn kun diesel-lastebiler. Jo lengre distanse kjørerutene hadde, desto større ble kostnadsforskjellene mellom diesel- og biogass-lastebil. Kostnadsforskjellen skyldes at biogass-lastebil er dyrere enn diesel-lastebil per

kjørte kilometer i kostnadsmodellen, når vi forutsetter en biogass-pris på 15,6 kroner. Det er vist i tabell 2A i vedlegget, der distanseavhengige kostnader er illustrert for hver bilmodell og kjøretøytype. I denne tabellen er også CO₂-avgiften tatt ut for diesel.

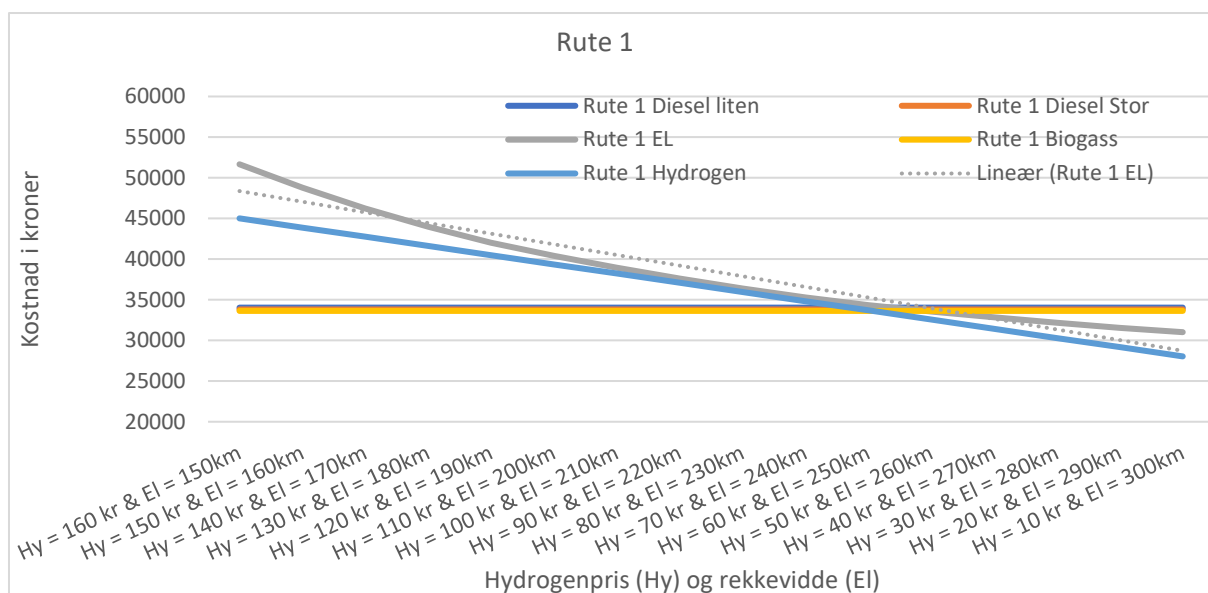
Både miljøkostnader og bompenger kan føre til at biogasslastebilene blir relativt billigere enn diesellastebilene. Dette er diskutert i kapittel 5.1.

I kapittel 3.1.5 beskrev vi at prisen på biogass trolig vil øke med 20 prosent innen 2030. I tabell 7B i vedlegget, har vi testet for 20 prosent økning i biogassprisen og hvordan dette slår ut på allokeringen til Blandet kjøretøypark. Tabell 7B i vedlegget viser at en økning i biogassprisen ikke endret allokeringen. På den annen side, kan vi se totalkostnadene økte med 3 153 kroner i Blandet kjøretøypark, ved å øke biogassprisen med 20 prosent.

Magnus, et al., (2018) har vært inne på viktige barrierer for biogass-lastebiler. Dette dreier seg blant annet om infrastruktur rundt gass, kostnader, dårligere trekraft og å sikre at drivstoffet man kjøper er biogass. En barriere er at forbrukere opplever at biogassen i stor grad er blandet ut med naturgass, og det er vanskelig å vite hvilket produkt man kjøper. Dette påvirker miljøvennligheten på drivstoffet, fordi naturgass ikke er klimanøytralt.

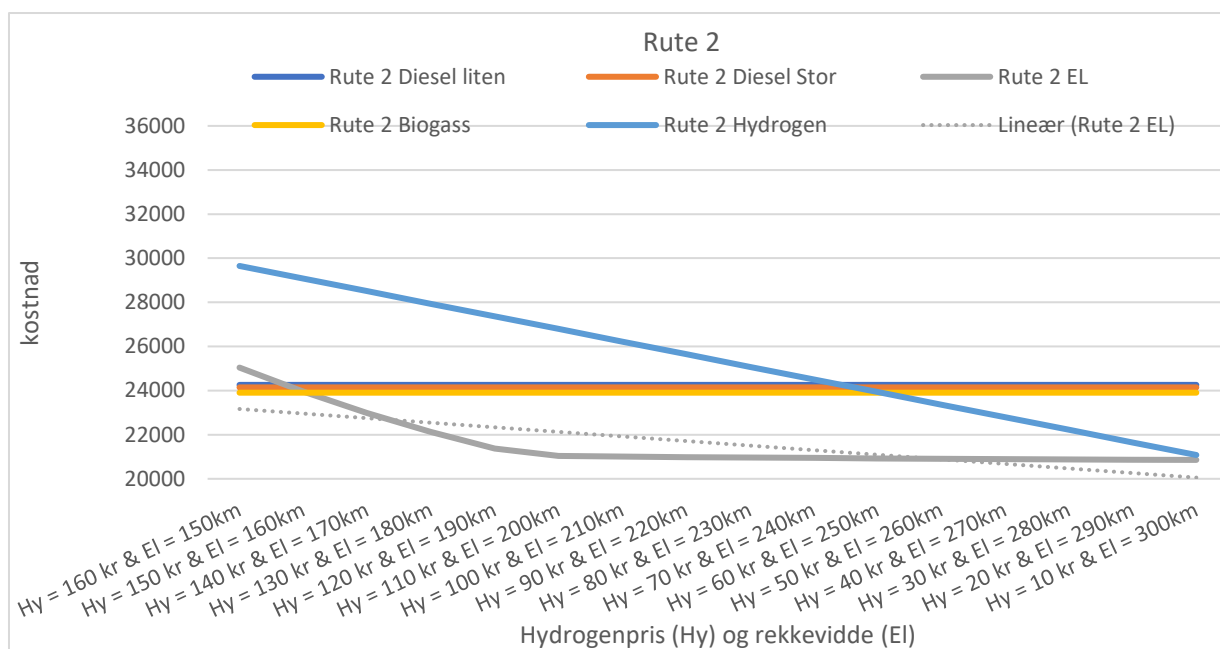
5.3.2 Rekkevidde og hydrogen

Figur 5.2 og 5.3 viser sensitivitet på rekkevidde for elektriske lastebiler og hydrogenprisen for rutene 1 og 2. Figurer for de resterende rutene finnes i vedlegget (figur 7B til 11B). Alle kjøretøyalternativene er inkludert og grafene viser at det er en endring i kostnader for elektriske- og hydrogen-lastebiler ved forskjellig rekkevidde og hydrogenpris. De kan dermed sammenlignes med kostnaden for å kjøre diesel- og biogasslastebil på rutene.



Figur 5.2: Kostnadsutvikling for rute 1 med forskjellige rekkevidder for elektriske lastebiler og hydrogenpris. Kostnadsutvikling i kroner med variasjon i rekkevidde på elektrisk lastebil (El) fra 150 til 300 kilometer og variasjon i hydrogenpris (Hy) fra 160 til 10 kroner inkludert MVA. Prisen er oppgitt i 2021-kroner (kr). Miljøkostnader på 2021-nivå, med CO2-kostnaden etter medianestimatet.

Figur 5.2 viser at for rute 1 blir elektrisk lastebil billigere enn diesel og biogass ved en rekkevidde på omtrent 270 kilometer. Hydrogenlastebil vil bli billigere enn diesel og biogass med en hydrogenpris på 50 kroner. Det er interessant å merke seg at kostnaden for elektrisk lastebil ikke følger rekkevidden til bilen lineært. For hydrogenbilen derimot ser kostnaden ut til å følge hydrogenprisen i en lineær nedadgående trend. Disse utviklingstrendene av kostnadene går igjen på alle rutene (se figurene 7B til 11B i vedlegget). For rute 2 ser vi også at elektrisk lastebil blir den billigste lastebiltypen etter en mye lavere rekkevidde og deretter flater kostnaden fort ut. Rute 2 er den korteste ruten (tabell 3.1).



Figur 5.3: Kostnadsutvikling for rute 1 med forskjellige rekkevidder for elektriske lastebiler og hydrogenpris. Kostnadsutvikling i kroner med variasjon i rekkevidde for elektrisk lastebil (El) fra 150 til 300 kilometer og variasjon i hydrogenpris (Hy) fra 160 til 10 kroner inkludert MVA. Prisen er oppgitt i 2021-kroner (kr). Miljøkostnader på 2021-nivå, med CO₂-kostnaden etter medianestimatet.

I figur 5.3 for rute 2, sees det tydelig at denne ruten skiller seg ut ved at elektrisk lastebil blir det billigste alternativet allerede med en rekkevidde på 160 kilometer. For en rekkevidde på 200 kilometer stabiliserer kostnaden seg, og reduseres med 174 kroner, dersom rekkevidden stiger til 300 kilometer. Dette er i kontrast til rute 1, som er vist i figur 5.2, hvor den elektriske lastebilen ikke blir kostnadsmessig konkurransedyktig før den har en rekkevidde på rundt 270 kilometer. For rute 6 vil ikke den elektriske lastebilen være kostnadsdyktig, selv ved en rekkevidde på 300 kilometer (se figur 10B i vedlegget). Rute 6 er den lengste ruten i vår modell (tabell 3.1).

Hydrogenpris

Som forklart over ser vi at hydrogenprisen har stor betydning for når hydrogen-lastebil vil være billigere enn diesel- og biogass-lastebil. Dette ser ut til å skje med en hydrogenpris på mellom 50 til 70 kroner, på de fleste ruter (se figur 5.2, 5.3 og figur 7B til 11B i vedlegget). Til sammenligning mener Greensight (2017, p. 35) at en hydrogenpris på 61,8 kroner inkludert MVA, omtrent vil tilsvare de samme kostnadene som diesel. Greensight har da lagt til grunn et

drivstofforbruk på 0,9 kilo per mil for hydrogen og et forbruk for diesel på 4 liter per mil. Dette bygger opp under våre funn.

Vi var tidligere inne på at utviklingen til hydrogenprisen er usikker. SINTEF viste som nevnt til at produksjonsprisen på hydrogen antagelig vil falle fram mot 2030 (kapittel 3.1.5). Vi nevnte også at NEL oppga en produksjonspris på 10 kroner per kilo hydrogen, dersom de hadde tilstrekkelig kundegrunnlag (kapittel 3.1.5). Mye tyder derfor på at prisen på hydrogen kan falle dersom det blir tilstrekkelig kundegrunnlag.

Magnus et, al., (2018, p. 66) mener det er vanskelig å si noe om konkurransedyktigheten til hydrogenkjøretøy i dag. Det er lite tilgjengelighet i markedet etter hydrogenkjøretøy, noe som er med på å gjøre kostnadene store. Tanking av hydrogenkjøretøy må også gjøres oftere enn for dieselkjøretøy. På den annen siden kan mange transportbehov bli dekket av hydrogenkjøretøy, dersom flere hydrogenkjøretøy blir kommersielt tilgjengelig, og hydrogen kan produseres og leveres til en konkurransedyktig pris.

Rekkevidde

Ved en rekkevidde på rundt 270 kilometer ville elektrisk lastebil vært billigere enn diesel-lastebil og biogass-lastebil på de fleste rutene (se figur 5.2, 5.3 og figur 7B til 11B i vedlegget). Ved å holde rekkevidden på elektrisk lastebil konstant, blir elektrisk lastebil gradvis ble dyrere enn diesel- og biogass-lastebil i takt med økt rutedistanse. Dette skjer derimot ikke helt lineært, og med noen hopp i kostnaden. Elektrisk lastebil må stanse for å ladelade og dermed påføres ekstrakostnader for lynlading. Lynlading vil også forsinke transporten, på grunn av ekstra ladetid (se kapittel 4.1). Da vil ekstra tidsavhengige kostnader påløpe (tabell 4.1). I tillegg påføres forsinkelseskostnader (tabell 4.4).

Under i tabell 5.7 vises beregnede forsinkelsestider (ekstra ladetid) på hver av rutene for elektriske lastebiler i uken, dersom vi setter rekkevidden til 200 kilometer. Vi ser at den lengste ruten (rute 6) har den største forsinkelsen i timer, noe som gjør at denne får størst forsinkelseskostnad. Rute 5 er den nest lengste ruten, og vi skulle derfor tro at denne hadde nest mest forsinkelser etter rute 6. Imidlertid ser vi at rute 3 (som er kortere enn rute 5), er den som har nest mest forsinkelser etter rute 6. At rute 3 har større forsinkelser enn rute 5, kan trolig forklares med at denne har større variasjon i daglig kjøredistanse enn rute 5 (i tabell 3A i vedlegget). Vi ser også at rute 3 har de lengste enkeltstående daglige kjøredistansene, sett opp

mot rute 5, og dette kan også være noe av forklaringen på større forsinkelser enn rute 5. Når vi snakker om forsinkelser for elektrisk lastebil, må derfor også variasjonen i daglig kjøredistanse og lengden på den daglige kjøredistansen tas i betraktning. Det er negativt dersom variasjonen i daglig kjøredistanse gjør at kjøredistansen blir lengre enn rekkevidden.

Tabell 5.7: Forsinkelse i timer for elektriske lastebiler på hver rute. Rekkevidde for elektrisk lastebil er satt til 200 kilometer.

	Forsinkelse i timer (elektrisk lastebil)
Rute 1	7,7
Rute 2	0,0
Rute 3	9,2
Rute 4	6,1
Rute 5	8,2
Rute 6	15,1
Rute 7	4,8

Som beskrevet under figur 5.2, synes kostnadskurven til elektrisk lastebil å følge en ikke lineær trend og å være nedadgående for økning i rekkevidden. Etter hvert som rekkevidden økes, vil dette gjøre at denne gradvis trenger færre ladestopp på lyn-ladestasjoner. I kapittel 3.1.5 så vi at lynlading er dyrere enn vanlig lading, som vi forutsatte kunne tilbys på terminalen til Miniekspress. Ettersom at det er en ikke-lineær trend i kostnadene ved å øke rekkevidden på elektrisk lastebil, kan det se ut til at å øke rekkevidden etter hvert vil ha redusert nytteverdi.

Magnus, et al., (2018, p. 46) beskriver at det kreves tilstrekkelige batterier for at elektriske lastebiler og busser skal kunne lades på natten og deretter kjøres hele dager. Vi ser i våre resultater at kostnaden for å sette elektrisk lastebil på ruten stiger mye dersom den må stoppe å lade på lynladestasjon, og at det virker å være viktig at rekkevidden holder til en hel daglig kjøredistanse.

Dersom vi øker rekkevidden på elektriske lastebiler vil altså dette slå forskjellig ut for de forskjellige dagene i uken, fordi det er variasjon i kjøredistansene fra dag til dag på rutene. Vi nevnte tidligere (kapittel 2.2.3) at usikkerheten for elektriske kjøretøy ville være størst for kjøretøy som ikke kjører på fast rute (Magnus, et al., 2018). I oppgaven antok vi at ukesrutene er representative. På den annen side vil det antagelig forekomme variasjoner i rutene utover dette. Dette spesielt når man ser på kjørerutene på dagsbasis.

Studien til Li, et al. (2018), som er beskrevet i kapittel 1.3, vurderte også kostnadseffektiviteten til elektriske kjøretøy, med forskjellige CO₂-kostnader. Den er utført på en forskjellig måte fra

denne oppgaven og inkluderer kjøpskostnad for bussene, men vi kan likevel tolke den som at elektriske busser blir mer lønnsomme i forhold til de andre busstypene i studien, bare man øker distansen på daglige kjøredistanser tilstrekkelig. I motsetning til dette finner vi i våre resultater mye som tilsier at elektriske lastebiler blir mindre kostnadsdyktige i forhold til de andre lastebiltypene, dersom rutedistansen og daglige kjøredistanser økes. For vår lengste rute vil ikke elektrisk lastebil bli kostnadmessig konkurransedyktig, selv med en rekkevidde på 300 kilometer. Ved å øke den daglige kjøredistansen ytterligere, vil dette gjøre elektriske lastebiler enda dyrere, sammenlignet med de andre lastebiltypene i vår oppgave.

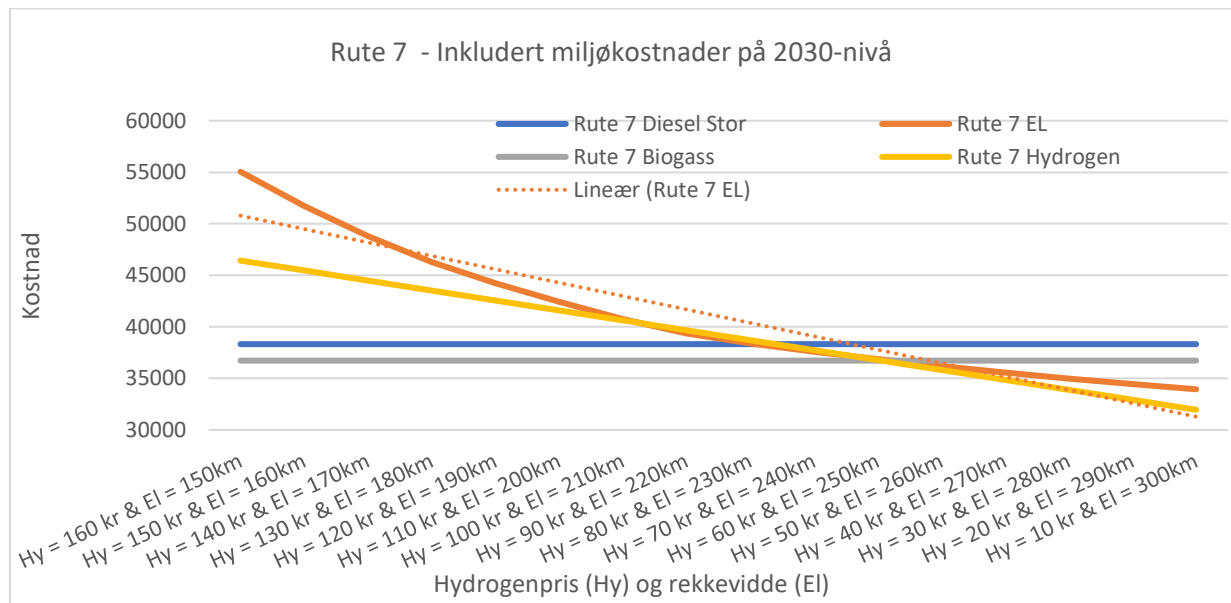
En forklaring på at elektriske lastebiler blir dyrere ved lengre kjøredistanser (i motsetning til studien case-studien i Hong Kong (Li, et al., 2018)) kan i stor grad skyldes at vi har tatt høyde for en betraktelig kostnad som fremkommer ved forsinkelse ved stopp til lading. Med dette mener vi blant annet forsinkelseskostnadene (som omtalt i kapittel 4.1 og kapittel 2.1.3). I det nevnte Hong Kong-caset er det ingen ting som tyder på at det er blitt lagt inn forsinkelseskostnader på samme måte som i denne oppgaven. Dersom vi hadde inkludert kjøpskostnaden for lastebiler i denne oppgaven, kan det derfor hende at kostnadene til elektrisk lastebil ikke hadde kompensert for en høyere innkjøpskostnad. Dette ettersom at ved økt kjøredistanse, øker også kostnadene til elektrisk lastebil relativt i forhold til de andre lastebilalternativene i vår oppgave.

Magnus, et al. (2018, pp. 52, 53) beskriver at elektriske lastebiler har størst utfordringer knyttet til rekkevidde, men at det også finnes barrierer som skyldes at det er få modeller som er tilgjengelig. Infrastrukturen er også en barriere, da det må bygges ladere for de elektriske lastebilene. At infrastrukturen er på plass er sentralt for at elektriske lastebiler skal bli tatt i bruk.

Det kan tenkes at Miniekspress har en høyere forsinkelseskostnad (som omtalt i kapittel 4.1 og kapittel 2.1.3) enn den som ble brukt i kostnadsmodellen. Forsinkelseskostnaden er basert på undersøkelser om betalingsvilligheten til ulike bedrifter, for å unngå forsinkelser i sendingene sine. Undersøkelsen viste også at 11 prosent av respondentene alltid velger det raskeste transportvalget (Harkjerr Halse, et al., 2019). Dette kan tyde på at disse bedriftene har en ekstrem preferanse for å unngå forsinkelser, og for disse vil forsinkelseskostnaden bli høyere. Miniekspress har et mål om å levere punktlig, forutsigbare og raske leveranser (Nor-Log Gruppen, 2021). Målgruppen til Miniekspress vil derfor mest sannsynlig være bedrifter som verdsetter rask transport, og dermed kan det bli enda mer kostbart med forsinkelser grunnet ladestopp for de elektriske lastebilene enn våre resultater viser.

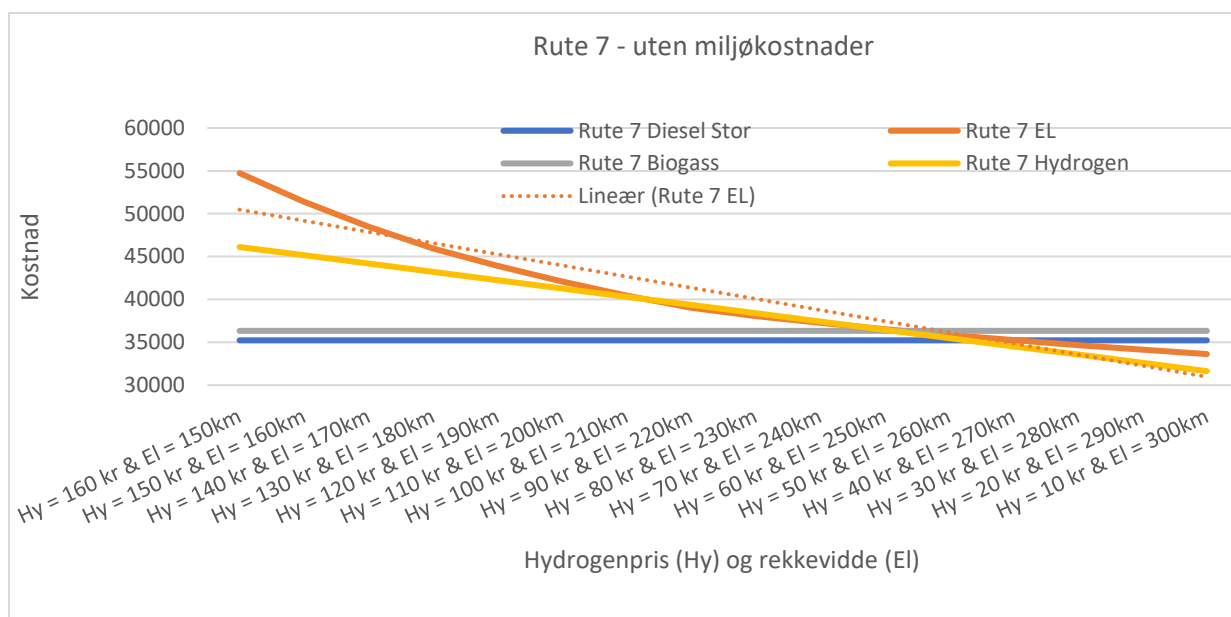
5.3.3 Miljøkostnader

Vi ønsket også å undersøke hvordan en endring i miljøkostnader påvirker ved hvilken rekkevidde og hydrogenpris de forskjellige kjøretøyene blir kostnadseffektive. Vi har brukt rute 7 som et eksempel. Rute 7 er den nest korteste ruten og kjøres hovedsakelig i middels tettsted, men er innom alle områdetypene. Figur 5.4 og 5.5 viser hvordan kostnaden endrer seg ved varierende rekkevidde og hydrogenpris, dersom man tar med miljøkostnader på 2030 mediannivå, eller utelater de helt.



Figur 5.4: Kostnadsutvikling i kroner for rute 2 med variasjon i rekkevidde for elektrisk lastebil (El) fra 150 til 300 kilometer og variasjon i hydrogenpris (Hy) fra 160 til 10 kroner inkludert MVA. Prisen er oppgitt i 2021-kroner (kr). Miljøkostnader på 2030-nivå, med CO2-kostnaden etter medianestimatet.

Figur 5.4 viser at ved en rekkevidde på omtrent 230 kilometer og en hydrogenpris på 80 kroner vil elektrisk lastebil og hydrogen-lastebil være billigere diesel-lastebil for rute 7. Biogasslastebilen er billigere enn diesellastebilen hele veien. Ved en rekkevidde på rundt 250 kilometer og en hydrogenpris på rundt 60 kroner, ser vi også at hydrogen- og elektrisk lastebil blir billigere enn biogasslastebilen.



Figur 5.5: Kostnadsutvikling for rute 7 med variasjon i rekkevidde for elektrisk lastebil (El) fra 150 til 300 kilometer og variasjon i hydrogenpris (Hy) fra 160 til 10 kroner inkludert MVA, uten miljøkostnader. CO₂-avgiften på diesel er også fjernet på diesel. Prisen er oppgitt i 2021-kroner (kr).

Figur 5.5 viser at bortfall av CO₂-avgiften og miljøkostnadene vil påvirke hvilke lastebiler som er billigst.

Den elektriske lastebilen vil under disse forutsetningene ikke bli billigere enn diesel-lastebilene før rekkevidden er på omtrent 270 kilometer, altså 40 kilometer lengre enn dersom miljøkostnader var medregnet. Videre ser man at hydrogen-lastebilen ikke ble billigere enn diesel-lastebilen før prisen er omtrent 40 kroner, en pris som er 40 kroner lavere enn dersom miljøkostnadene var medregnet for median 2030-nivå.

Biogass-lastebilen vil i figur 5.4 ha en lavere kostnad enn diesel-lastebilen. Ved fjerning av miljøkostnadene i figur 5.5, har biogass-lastebilen en relativt høyere kostnad enn diesel-lastebilen. Ved å ta ut miljøkostnadene for biogass-lastebilen vil ikke dette i nevneverdig grad påvirke når den elektriske- og hydrogen-lastebilen blir billigere enn biogass-lastebilen. Dette til tross for at biogass-lastebilen har noe høyere lokale utslippskostnader på grunn av utslipp av NO_x. Imidlertid er utslippene av NO_x for biogass-lastebil lave sammenlignet med CO₂-kostnaden for diesel-lastebilene.

Det ser altså ut til at miljøkostnader kan ha mye å si for hvor tidlig det blir kostnadseffektivt (ved hvilken rekkevidde og hvilken hydrogenpris) med elektrisk- og hydrogenlastebil. Resultatene fra figur 5.4 og 5.5 viser at dette gjelder særlig for når dieselbilen ikke lengre er kostnadseffektiv, sammenlignet med de andre lastebilene. Biogassbilen var også billigere enn

diesel-lastebilen dersom miljøkostnader var medregnet. Dette viser at både nivået på miljøkostnader, rekkevidde og hydrogenprisen sammen kan spille en rolle for hvilke biler som vil være kostnadseffektive.

5.3.4 Sensitivitet i Blandet kjøretøypark

Rekkevidde

Hvordan rekkevidden på de elektriske lastebilene påvirker allokeringen av kjøretøy og totalkostnaden, er også undersøkt for en Blandet kjøretøypark. Miljøkostnader er satt til 2021-nivå, med mediannivå for CO₂-kostnadene og hydrogenpris er til 90 kroner. Tabell 5.8 viser hvordan kjøretøysallokeringen endrer seg, dersom rekkevidden endrer seg fra 150 kilometer til 310 kilometer. En mer detaljert oversikt finnes i tabell 5B i vedlegget, hvor det er vist med trinnvise økninger på 20 kilometer rekkevidde mellom 150 og 310 kilometer. Rekkevidden er oppgitt i faktisk rekkevidde, altså hvor langt lastebilen kan kjøre uten å måtte lade (kapittel 4.1). Tabell 5.8 viser at den ukentlige kostnaden ved allokering faller med 7 383 kroner fra en rekkevidde på 150 til 310 kilometer.

Tabell 5.8: Sensitivitetsanalyse for endringer i rekkevidden til elektriske lastebiler (EL) fra 150 til 310 kilometer. Hydrogenprisen er satt til 90 kroner per kilo inkludert MVA. Miljøkostnadene er på 2021-nivå, der CO₂-kostnaden er på medianestimatet. Kjøretøyparken er Blandet kjøretøypark. Gule felt markerer ett skifte i kjøretøysallokeringen. Kostnaden er oppgitt i 2021-kroner.

	150	250	270	310
Rute 1	Diesel liten	Diesel liten	Diesel stor	Diesel stor
Rute 2	EL	EL	Hydrogen	Hydrogen
Rute 3	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass
Rute 4	Hydrogen	Hydrogen	Diesel liten	Diesel liten
Rute 5	Diesel stor	Diesel stor	EL	EL
Rute 6	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass
Rute 7	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor
Kostnad ved allokering	<u>251 533</u>	<u>247 418</u>	<u>246 970</u>	<u>244 150</u>

Rute 3, 6 og 7 har samme allokering av kjøretøy ved alle rekkeviddene. Det er altså rute 1, 2, 4 og 5 som bytter kjøretøy ved forandring av rekkevidden i denne analysen. Dette skiftet skjer fra en rekkevidde på 250 til 270 kilometer. Elektrisk lastebil flyttes da fra rute 2 til rute 5.

Rute 5 er en relativt lang rute på 1 619 kilometer, mens rute 2 er den korteste ruten med 793 kilometer (tabell 3.1). Rute 5 har mer i bompenger enn rute 2 (tabell 8A i vedlegget). Vi vet også at rute 5 har den lengste distansen kjørt i stort tettsted av alle rutene (tabell 3.1). Modellen har derfor vurdert det slik at det er mer å spare på å flytte elektrisk lastebil til rute 5 og re-allocere flere av de andre lastebilalternativene, ved økning av rekkevidden. Diesel stor, kjørte på rute 5 i utgangspunktet. Miljøkostnadene er lavere for elektrisk lastebil, samt at det er kun diesel-lastebil som betaler bompenger. Lavere forsinkelseskostnader er en konsekvens av å øke rekkevidden på elektrisk lastebil. Denne kan derfor mer kostnadseffektivt påta seg lengre ruter ved å øke rekkevidden.

Hydrogenpris

Tabell 5.9 viser hvordan kjøretøysallokeringen ble endret, ved en endring i hydrogenprisen for Blandet kjøretøypark. Miljøkostnader er satt til 2021-nivå, med medianestimat for CO₂-kostnader og rekkevidde for elektrisk lastebil er 200 kilometer. Hydrogenprisen ble endret med trinnvise økninger mellom 10 og 130 kroner. I tabell 6B i vedlegget finnes en mer detaljert versjon av tabell 5.9, med flere prisalternativer mellom 10 og 130 kroner.

Ved en endring i hydrogenprisen på 50 til 60 kroner, ser vi i tabell 5.9 at hydrogen-lastebilen allokeres fra rute 6 til rute 5, mens biogass-lastebilen allokeres fra rute 5 til rute 6. En pris på 70 kroner resulterer i samme allokering. Når prisen øker fra 70 til 80 kroner allokeres hydrogen-lastebilen fra rute 5 til rute 4, mens diesel stor går fra rute 1 til rute 5. Løsningen ved 80 kroner var også gyldig for trinnvise økninger på 10 kroner, opp til og med 120 kroner. Ved en pris på 130 kroner, endret løsningen seg. Hydrogen-lastebilen gikk da fra rute 4 til rute 7.

Det er interessant å merke seg at allokeringen av hydrogen-lastebil gradvis flyttes fra den lengste til kortere ruter ved å øke hydrogenprisen (se tabell 3.1 for rutedistanser). Vi tror økningen i hydrogenprisen kan være mye av forklaringen på dette. Samtidig, ser vi at hydrogen-lastebilen fremdeles ikke har blitt flyttet til den korteste ruten ved en hydrogenpris på 130 kroner. Det kan derfor bety at det er mer å spare på å ha elektrisk lastebil på den korteste ruten. En annen mulig forklaring er også at man vil tape mer på å plassere elektrisk lastebil på en annen rute (slik at hydrogen-lastebil kan erstatte elektrisk lastebil) enn man sparer på å sette elektrisk lastebil på den korteste ruten.

Tabell 5.9: Sensitivitetsanalyse for endringer av hydrogenprisen mellom 10 og 130 kroner per kilo inkludert MVA. Rekkevidden på elektrisk lastebil (EL) er satt til 200 kilometer. Miljøkostnadene er på 2021-nivå, der CO2-kostnaden er på medianestimatet. Kjøretøyparken er Blandet kjøretøypark. Gule felt markerer ett skifte i kjøretøysallokeringen. Kostnaden er oppgitt i 2021-kroner.

	10	50	60	70	80	120	130
Rute 1	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel liten	Diesel liten	Diesel stor
Rute 2	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
Rute 3	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass
Rute 4	Diesel liten	Diesel liten	Diesel liten	Diesel liten	Hydrogen	Hydrogen	Diesel liten
Rute 5	Biogass	Biogass	Hydrogen	Hydrogen	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor
Rute 6	Hydrogen	Hydrogen	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass
Rute 7	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Hydrogen
Kostnad ved allokering	<u>236 669</u>	<u>242 847</u>	<u>244 263</u>	<u>245 429</u>	<u>246 486</u>	<u>250 630</u>	<u>251 619</u>

I tabell 5.9 vises en økning i totale kostnader ved å øke hydrogenprisen. Ved en hydrogenpris på 90 kroner kan vi i tabell 6B i vedlegget se at den totale allokeringstkostnaden er på 247 522 kroner. Dersom hydrogenprisen for eksempel hadde blitt redusert til 20 kroner, ville den totale allokeringstkostnaden blitt redusert med 9 309 kroner i Blandet kjøretøypark.

5.4 Simulering

Tabell 5.10 og tabell 5.11 viser resultat av simuleringene for rekkevidde og hydrogenpris. Disse tabellene er satt opp som beskrevet om simulering i kapittel 4.4.5. Ved simulering på rekkevidde og hydrogenpris er miljøkostnadene satt til 2021-nivå. Bare lokale miljøkostnader er relevant for elektrisk- og hydrogenlastebil.

Tabell 5.10: Simulering for elektrisk lastebil med rekkevidde. Raden «standard: elektrisk lastebil», viser kostnadsmodellen kjørt for elektrisk lastebil med rekkevidde på 200 kilometer, ved realprisjustering for lokale utslippskostnader fram til 2021. Raden «simulering: rekkevidde» er lik «standard: elektrisk lastebil» raden, bortsett fra at det kjøres simulering med normalfordelt rekkevidde med median lik 200 kilometer rekkevidde og et standardavvik på 50 kilometer rekkevidde. «Simulering: rekkevidde» raden viser gjennomsnittet av 2000 simuleringer. Raden «standardavvik ved simulering» i nederste rad, viser standardavviket til kostnadene for elektrisk lastebil ved simuleringen som ble foretatt. Kostnaden er oppgitt i 2021-kroner.

	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4	Rute 5	Rute 6	Rute 7	Totalt
Standard: elektrisk lastebil	40 389	21 031	45 550	35 199	41 737	76 665	42 394	302 966
Simulering: rekkevidde	43 243	22 883	48 350	37 860	44 455	81 484	45 990	324 265
Standardavvik ved simulering	11 278	4 091	10 645	9 660	12 129	21 729	12 517	

Tabell 5.11: Simulering for hydrogenlastebil med hydrogenpris. Raden «standard-hydrogenlastebil» viser resultatet fra kostnadsmodellen kjørt for hydrogen-lastebil med hydrogenpris på 90 kroner per kilo inkludert MVA, ved realprisjustering for lokale utslippskostnader fram til 2021. Raden «simulering: hydrogenpris» er lik «standard: hydrogenlastebil» raden, bortsett fra at det kjøres simulering på en uniform sannsynlighetsfordeling av hydrogenpris mellom 90 og 25 kroner per kilo inkludert MVA. «Simulering: hydrogenpris» raden viser gjennomsnittet av 2000 simuleringer. Raden «standardavvik ved simulering» viser standardavviket til kostnadene for hydrogen-lastebil ved simuleringen som ble foretatt. Kostnaden er oppgitt i 2021-nivå.

	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4	Rute 5	Rute 6	Rute 7	Totalt
Standard: hydrogenlastebil	37089	25651	39762	34062	37827	55605	39650	269646
Simulering: hydrogenpris	33421	23799	36068	30705	34049	50598	36522	245162
Standardavvik ved simulering	2121	1071	2137	1942	2185	2895	1809	

For begge simuleringene er det lagt inn et standard alternativ (i radene «standard: elektrisk lastebil» og «standard: hydrogenlastebil») for å sammenligne simuleringens verdiene, opp mot resultatet fra kostnadsmodellen som tilsvarer en rekkevidde på 200 kilometer for elektrisk lastebil og 90 kroner for hydrogen-lastebil. Miljøkostnadene er satt til 2021-nivå. I simuleringen på rekkevidde, er den totale økningen i kostnader på 21 299 kroner for elektrisk lastebil, sammenlignet med standardalternativet. For simuleringen på hydrogenpris, ser vi en reduksjon

på 24 484 kroner for hydrogen-lastebil, sammenlignet med standard alternativet. For begge simuleringene ser vi at rute 6 har det høyeste standardavviket, mens rute 2 har det laveste. Dette gir også mening, tatt i betraktning at rute 6 er den lengste ruten og rute 2 er den korteste ruten (tabell 3.1).

Hydrogenpris:

I kapittel 5.3.2 fant vi at kostnaden til hydrogenlastebilen reduseres lineært ved å redusere hydrogenprisen. Simuleringen av hydrogenprisen (tabell 5.11) brukte en uniform sannsynlighetsfordeling (kapittel 4.4.5), der alle utfall mellom 90 og 25 kroner var like sannsynlige. Dersom vi hadde kjørt kostnadsmodellen én gang med hydrogenpris på 57,5 kroner, ville resultatet blitt relativt likt det gjennomsnittresultatet simuleringen viste. 57,5 kroner er gjennomsnittet mellom 90 og 25 kroner, og siden alle verdier mellom 90 og 25 kroner er like sannsynlige, vil vi med et tilstrekkelig utvalg altså se at gjennomsnittet beveger seg mot middelverdien. Den uniforme sannsynlighetsfordelingen kan fange opp noe av variasjonen i hydrogenprisen, selv om vi ikke er sikre på hvordan sannsynlighetsfordelingen til hydrogenprisen er, fordi vi som beskrevet i kapittel 5.3.2 er usikre på hvordan hydrogenprisen vil utvikle seg.

Rekkevidde:

Som tidligere nevnt i kapittel 5.3.2 registrerer vi at elektriske lastebiler har en nedadgående kostnadskurve som er ikke lineær. Dette er en mulig forklaring på den store kostnadsøkningen ved simuleringen (tabell 5.10). Kostnadsøkningen ved å få mindre rekkevidde er større enn kostnadsreduksjonen ved å få mer rekkevidde. Dermed vil tilfeldig normalfordelte verdier av rekkevidde resultere i større kostnader, enn dersom rekkevidden hadde vært satt til medianverdien i normalfordelingen. Dette underbygger også det vi diskuterte i kapittel 5.3.2, om at en økt variasjon i daglig kjøredistanse kan gi økning i kostnader for elektriske lastebiler. Økning i daglig kjøredistanse kan sammenlignes med å få redusert rekkevidde. Den økte variasjonen i daglig kjøredistanse øker kostnadene dersom det fører til at daglig kjøredistanse blir lengre enn rekkevidden for den elektriske lastebilen.

5.5 Strategisk tilpasning

I kapittel 2.1.2, beskrev vi om hvordan et selskap kan innrette seg etter forskjellig resulterende etterspørselsusikkerhet fra kunder og hvordan bygge opp forsyningskjeden basert på dette. Valgene Miniekspress for kjøretøy kan trolig ha innvirkning på deres kunder, som leverer til forbrukermarkedet.

Det er også viktig å vurdere andre fordeler som kan komme av å ha mer miljøvennlige kjøretøy. En kjøretøypark med klimanøytrale- og nullutslippskjøretøy kan bidra til at Miniekspress vinner kontrakter, i tillegg til å tilpasses seg myndighetenes regler og mål.

5.5.1 Logistikkostnader

Som vist i tabell 5.7, kan bruk av elektrisk lastebiler føre til forsinkelser. Dette kan settes i sammenheng med den strategiske tilpasningen Miniekspress ønsker og hvilke typer etterspørsel varene møter. Vi vet at Miniekspress leverer mange varer som krever temperaturregulering, slik som matvarer.

Innledningsvis i oppgaven, beskrev vi at Miniekspress legger vekt på at leveransene skal være punktlig (kapittel 1). Det kan være for generaliserende å si at alle varer krever den samme graden av punktlig. Det er mulig at Miniekspress kan oppleve forskjellige grader av resulterende usikkerhet i etterspørselen (Chopra, 2019). Det kan derfor være nyttig for Miniekspress å skille mellom hvilke kunder den resulterende etterspørselutsikkerheten er høy og lav, når de skal allokere kjøretøy. Dette er fordi valget av kjøretøy kan påvirke hvilken punktlig transporten har, og det vil være mest hensiktsmessig å allokere elektriske kjøretøy til ruter som har lav resulterende etterspørselutsikkerhet. Elektriske biler passer best på disse rutene, fordi det kan oppstå forsinkelser dersom de må stoppe for å lade.

Magnus, et al. (2018) var også inne på at usikkerheten var størst for elektrisk kjøretøy som ikke kjører på fast rute (kapittel 2.2.3). Ledetid og usikkerhet i ledetid kan ha innvirkning på sikkerhetslageret dersom man ønsker å beholde den samme servicegraden. En gitt optimal servicegrad kan brukes til maksimering av profitt for selskaper. For at kundene til Miniekspress skal beholde servicegraden til sine kunder i forbrukermarkedet, ved økt ledetid og usikkerhet i ledetid, kan sikkerhetslageret økes (Chopra, 2019).

Usikkerhet i ledetiden og økt ledetid vil få størst utslag i sikkerhetslageret for varer med høy resulterende etterspørselsusikkerhet. Økt ledetid vil gi økt aggregert usikkerhet i etterspørselen og dette vil slå hardest ut for varer med stor resulterende usikkerhet i etterspørselen. Varer med høy resulterende etterspørselsusikkerhet, vil kreve større økning i sikkerhetslager enn varer med lavere resulterende usikkerhet, selv dersom usikkerhet i ledetid og økt ledetid er lik (Chopra, 2019). Økt lager, kan som beskrevet i kapittel 2.1.3, gi økte lagerholdskostnader.

Basert på dette synes elektriske lastebiler å være mest fordelaktig å benytte til ruter med mindre variasjon i daglige kjøredistanser, korte daglige kjøredistanser og varer med lavere resulterende etterspørselsusikkerhet. Usikkerhet i ledetid og lengre ledetid, spesielt for varer med høy etterspørselsusikkerhet, er ikke i tråd med responsivitet for Miniexpress. En effekt av dette kan bli at kundene til Miniexpress må øke sitt sikkerhetslager for å beholde samme servicegrad til sine kunder i forbrukermarkedet.

Miniexpress leverer også ekspressleveringer, som vil ha høyere resulterende usikkerhet enn varer som leveres ved vanlige ruter. Ruter med ekspressleveringer vil det derfor ikke være lurt å sette elektriske lastebiler på. Ved å benytte elektriske lastebiler til en større grad av planlagte leveranser, kan dette gjøre det lettere å allokere disse til oppnåelige kjøredistanser og ruter.

Økt daglig kjøredistanse kan gi økning i kostnader for elektriske lastebiler. Stor variasjon i daglig kjøredistanse vil også slå negativt ut, dersom det fører til at daglig kjøredistanse er lengre enn rekkevidden til den elektriske lastebilen (kapittel 5.3.2). Dette kan også bety at økt rekkevidde for elektriske lastebiler kan være gunstig for og gi lavere logistikkostnader for kundene til Miniexpress, på ruter med lange daglige kjøredistanser og der det er større variasjon i daglig kjøredistanse. Dette ettersom at vi så at slike ruter kunne skape forsinkelser for kundene til Miniexpress. For Miniexpress sine kunder vil en økt rekkevidde på elektriske lastebiler kunne gi lavere logistikkostnader.

Selv om rutene vi har fått fra Miniexpress, for det meste består av representative ruter, er det uansett grunn til å tro at rutene kan endres i framtiden. Ekspressleveranser samme dag kan også komme opp som mulige allokeringalternativer. Dermed kan det gi best resultat at elektriske lastebiler allokeres til rutene med lavest daglig kjøredistanse og minst variasjon i daglig kjøredistanse.

5.5.2 En større fordel av grønn forsyningskjede enn tallene tilsier?

Miniekspress frakter varer hvor kundene har en høy betalingsvillighet for bærekraftig transport. Dette gjelder varer som skal selges direkte til forbrukermarkedet. Fremover regner DHL (2019) med at enda flere kunder vil kreve at varene de kjøper har blitt fraktet med bærekraftig transport. Å kjøpe inn klimanøytrale kjøretøy kan påvirke lønnsomheten til Miniekspress, fordi etterspørselen etter tjenestene de leverer kan øke.

Basert på våre resultater vil totalkostnaden øke dersom de går over fra en kjøretøypark med Euro VI kjøretøy til en klimanøytral kjøretøypark, med dagens teknologinivå. Dersom inntektene kan økes ved at betalingsvilligheten er høyere for klimanøytral transport, kan også høyere inntekter kunne kompensere for en økning i kostnadene.

Hvilken kjøretøypark som brukes kan også være viktig for å vinne kontrakter. Miniekspress har uttalt at det noen ganger er et krav om å bruke klimanøytrale kjøretøy for å vinne enkelte kontrakter. Avgjørelsen om å satse på en mer klimavennlig kjøretøypark må også ta hensyn til mer enn å bare minimere kostnader. Derfor kan det være strategisk for å sikre flere inntekter å kjøre klimanøytrale kjøretøy, selv om disse ikke er de mest kostnadseffektive på den satte ruten.

Regjeringen i Norge jobber med en klimasatsning. Her spiller både Klimakur 2030 (Miljødirektoratet, 2020) og Nasjonal transportplan (Det Kongelige Samferdselsdepartement, 2021) inn, hvor begge underbygger utslippskuttene som skal gjøres i Norge for å nå målet utslippsmålet satt i Parisavtalen og Gøteborgprotokollen. I flere byer, deriblant Oslo, utredes det å opprette en nullutslippsone. Her vil bare nullutslippskjøretøy få tilgang. Dette kan påvirke Miniekspress, da de leverer varer til Oslo. Det vil da være et krav om at Miniekspress har nok nullutslippskjøretøy til å dekke disse rutene. Dette kan også bidra til at det vil lønne seg for Miniekspress å skifte ut kjøretøyparken før nullutslippskjøretøy tilsynelatende blir billigere enn diesel- og biogasslastebiler. Det skal vurderes om biogasskjøretøy kan slippe inn i disse sonene (Det Kongelige Samferdselsdepartement, 2021). Det vil i så fall være fordelaktig for Miniekspress, ettersom biogasskjøretøy er det billigste alternativet på de fleste ruter.

Biogasskjøretøy slipper ut flere gasser som er skadelige for det lokale miljøet. Dette kan gi en lavere etterspørsel etter biogasskjøretøy, særlig i store tettsted. Det er mulig at elektriske kjøretøy kan i noen grad erstatte biogasskjøretøy. Det vil være et problem for Miniekspress om de satser alt på biogasskjøretøy. I Norge er fokuset stort på elektriske kjøretøy

(Samferdselsdepartementet, 2019), og dette kan føre til at biogassmarkedet synker. Det er sett i Sverige, i studien fra Ammenberg, et al. (2017).

5.6 Modellens begrensninger

Vi starter med å presentere begrensninger i data og metode. Modellene i denne oppgaven er bygget på flere forutsetninger, som medfører usikkerhet i kostnadsberegningene. Vi presenterer de viktigste.

Begrensninger i modell og fremtidig usikkerhet:

En begrensning i forhold til modellen er at vi forutsetter en ladetid som er proporsjonal med effekten på batteriet, slik at ladetiden ikke varierer gjennom ladeprosessen. Dette gir ikke nødvendigvis et riktig bilde på ladetiden hos elektriske lastebiler.

Det finnes få tilgjengelige lastebil-alternativer for elektriske- og hydrogen-lastebiler. For den elektriske lastebilen vi inkluderte, var det mye som tydet på at fraktvekten ikke var tilstrekkelig for rutene til Miniexpress. Vi forutsatte derfor at den elektriske lastebilen likevel var på størrelse med stor diesel-lastebil. For hydrogen-lastebiler finnes det også få tilgjengelige alternativer og lite informasjon om lastvekt. Derfor måtte vi også for denne, forutsette at den var på størrelse med diesel stor lastebil. En begrensning i modellen er derfor at forutsetningene kan virke for optimistiske sammenlignet med hvilke modeller som finnes av elektriske- og hydrogen-lastebiler.

I sensitivitetsanalysen, ble det testet for trinnvise økninger av kostnader og rekkevidde. Ved å gjøre dette, fant vi bare resultatet for verdiene vi testet. Vi kan derfor ikke si noe om hvilke løsninger som finnes i intervallene mellom verdiene vi testet, eller ved nøyaktig hvilken verdi allokeringen endres. En begrensning i modellen er derfor at vi ikke med sikkerhet kan fastslå hvor langt hver av løsningene vil være gyldig i scenariene. I denne oppgaven har vi antatt at løsningene ikke endret seg mellom verdiene det ble testet for. I solver-funksjonen i Microsoft Excel, kan det som nevnt (se kapittel 4.4) lages en sensitivitetsrapport som viser tillatt økning og reduksjon i kostnadsparametrene, før den optimale løsningen endres eller om andre løsninger også er optimale (Hillier & Hillier, 2014). Som beskrevet i kapittel 4.4 har vi ikke benyttet oss av denne sensitivitetsrapporten.

I kapittel 4.4.5 vises det også til at vi bruker en uniform fordeling i simuleringen av hydrogenpris, og at vi ved simulering av rekkevidde har brukt en normalfordeling. Dette er

fordelinger vi kun har antatt, og vi kan ikke slå fast at dette representerer virkeligheten. Vi valgte en uniform fordeling for hydrogenprisen fra 90 til 10 kroner, fordi prisen på hydrogen antageligvis går nedover, som beskrevet i kapittel 3.1.5. Det kan være en svakhet i modellen at vi ikke har undersøkt sannsynlighetsfordelingen for de forskjellige hydrogenprisene og rekkeviddene bedre.

Figenbaum, et al., (2019) skriver at hydrogen-lastebiler og elektriske lastebiler trolig vil bli mulig å introdusere gradvis. Det kan se ut til at EU's krav om sterkt reduserte CO₂-utslipp, vil gjøre at lastebil-produsenter endrer sin strategi. Utviklingen innen teknologi og kostnader for de nye kjøretøyene, vil kunne ha innvirkning på erstatningen av dagens lastebiler. En annen vesentlig faktor er problemene med ladekøer, som er lite ønsket for kjøperne. Med bakgrunn i dette vil det antagelig være usikkert hvilke kjøretøytyper og drivstoff/strøm som vil være tilgjengelig i stor skala. Det er usikkert om scenariene vi bygger i oppgaven, gjenspeiler en reell situasjon fremover mot 2030, da vi ikke vet i hvilken grad forskjellige kjøretøytyper vil være tilgjengelig kommersielt. Det er også mulig at andre teknologier, som vi ikke vet om enda, blir tilgjengelige. Ved å prøve ut med ulike typer bilparker, får vi imidlertid muligheten til å se optimaliseringen fra flere sider.

Videre viser Figenbaum, et al., (2019) til at godstransport som regel ikke begrenses av vekt, men av volum. I oppgaven antok vi at Miniexpress kjørte med 90 prosent fyllingsgrad. I vår analyse målte vi fyllingsgraden kun i vekt. Det kan tenkes at 90 prosent fyllingsgrad ved volum vil slå forskjellig ut i forhold til forbruk enn 90 prosent fyllingsgrad ved vekt. Vi har ikke sett på ulikhet i energi-forbruket til lastebilene ved forskjell i fyllingsgrad, målt i verken vekt eller volum.

Rutene er basert på totalen av de fem ukedagene. Dette har betydning kostnaden til de elektriske lastebilene. For elektriske lastebiler er det viktig at vi ser resultatet opp mot variasjonen i kjøredistansen hver dag. Da vi satt rekkevidde for elektriske lastebiler til 200 kilometer, vil det for daglige kjøredistanser over dette være nødvendig med lynlading for elektriske lastebiler. Ser man for eksempel på rute 2 med 793 kilometer for fem ukedager, er det ikke nødvendig med lynlading for elektriske lastebiler på denne ruten, da den lengste daglige kjøredistansen var 197 kilometer, og ikke overskrider rekkevidden for elektrisk lastebil. Dersom kjøredistansen denne dagen hadde økt med 4 kilometer, samtidig som en av de andre dagene hadde redusert sin kjøredistanse med 4 kilometer, ville dette gjort at den elektriske lastebilen får behov for lynlading, selv om den totale kjøredistansen i uken forble det samme. Med bakgrunn i dette, sier ikke samlet ukedistanse noe om variasjonen i kjøredistanse per dag.

Selv om vi i kostnadsmodellen ser at den elektriske lastebilen er å foretrekke på den korteste ruten, er det viktig at man ser distansen på rutene i sammenheng med variasjonen i kjøredistanser per dag. Det er en svakhet med modellen at vi ikke har bygget analysen tettere rundt enkeltdager. Dette gjør at modellen slår hardt ut på variasjon i daglig kjøredistanse på rutene.

Begrensninger i datagrunnlaget:

Rutene som ble brukt i oppgaven er basert på posisjonsdata fra Miniexpress sine biler. Disse er punktmålinger som gir luftlinje distansen hvert kvarter. Dataene viser dermed ikke den faktiske kjørelengden med svingete veier eller hvor bilene er til hvert tidspunkt. Dette kan derfor gjøre at vi underestimerer den faktiske rutedistansen. Dette kan sies å være en svakhet med datagrunnlaget.

Helsemessige kostnader av lokale utslipp til luft av svevestøv, NO_x og SO₂ (som inngår i det vi omtaler som «miljøkostnadene») avhenger av størrelsen på befolkningen som er eksponert. Derfor er det viktig å vite fordelingen mellom områdetypene langs rutene. For å finne ut hvilke områdetyper kjørerutene var innom brukte vi befolkningstall fra kommuner som rutene hadde vært innom. Det vil være variasjon i hvor tettbygd de forskjellige strøkene innad i kommunen er. Siden tallene vi har brukt på befolkning, er på kommunenivå og ikke på tettstedsnivå, vil dette medføre en viss usikkerhet i hvorvidt rutene kjøres i tettbebyggelse eller ikke. En rute som kjøres utenfor sentrum i en kommune som er et tettsted, vil regnes som kilometer kjørt i et tettsted. Dette medfører noe usikkerhet i miljøkostnaden, og vil i dette tilfellet overestimere den faktiske miljøkostnaden. En kommune med 99 000 innbyggere vil for eksempel klassifiseres som et middels tettsted, men dersom befolkningen i kommunen øker med 1 000 innbyggere vil den bli klassifisert som et stort tettsted. Det blir derfor ikke noe glidende overgang mellom tettstedsdefinisjonene.

Begrensninger i kostnader/ estimer:

Miljøkostnadene tar ikke hensyn til fremtidig befolkningsutvikling. En endring i befolkningstettheten kan imidlertid påvirke miljøkostnadene for de lokale skadevirkningene av utslipp til luft (og dermed miljøkostnaden) ettersom disse i modellen blir påvirket av områdetype som bilene kjører i. Disse områdetypene er en svært grov inndeling. Det kan gi store utslag på miljøkostnadene selv med små endringer i den faktiske befolkningstettheten, fordi området kan bytte til en annen områdetype ved små endringer i befolkningen. Områder som har en befolkning som er akkurat innenfor en områdetype og på vippen til en annen er

særlig utsatt for disse feilene. Det er også svært usikkert hvilken befolkningsutvikling de forskjellige kommunene får frem mot 2030. Vi har derfor valgt ikke å justere modellen for en endring i områdetyper på grunn av endring i befolkningen, noe som kan gjøre at de lokale skadekostnadene kan være unøyaktige.

Fridstrøm (2020) skriver at hele avgiften på drivstoff, altså CO₂-avgiften for diesel i tillegg til veibruksavgiften, i realiteten kan sees på som CO₂-avgift. I modellen ser vi ikke på vegbruksavgiften som en CO₂-kostnad, men inkluderer den som en bedriftsøkonomisk kostnad for dieserbiler. Dette vil gjøre at diesel-kjøretøyene blir belastet med flere CO₂-avgifter, ettersom vi legger til CO₂-kostnaden som er beskrevet i kapittel 2.2. Veibruksavgiften er satt til en konstant verdi, slik at vi kunne måle den isolerte effekten av miljøkostnadene vi bruker i modellen.

I modellen har vi ikke trukket fra bompenger. Disse er en del av de avgiftene dieserbiler må betale. Det kan tenkes at bompenger vil kompensere for samfunnsøkonomiske avgifter, og at man ved å betale både bompenger og miljøkostnader betaler dobbelt opp. Imidlertid skriver Rødseth et al (2019) at bompenger som avgift treffer med lav presisjon, og skal internalisere en rekke forskjellige eksterne kostnader. Noen av disse er miljøkostnader, som utslipp av NO_x. Andre er kostnader for kødannelse, finansiering av vei bygging og lignende. Det blir da bare dieserbiler som betaler for dette i vår modell. Dette kan gi dieserbiler et høyere totalt avgiftsnivå enn de andre bilene på falskt grunnlag. Vi valgte likevel å beholde bompenger i vår modell, ettersom det er en viktig kostnad for Miniekspress på enkelte ruter. Det vil da være viktig å få med denne kostnaden i modellen, slik at Miniekspress kan bruke resultatet til å sammenligne kostnadene for de forskjellige biltyper. Det er også mulig at de klimanøytrale kjøretøytypene må betale bompenger fremover.

Det totale avgiftsbildet vil være viktig, men i denne oppgaven har vi begrenset oss til kun å legge inn miljøkostnaden. Samtidig holder vi veibruksavgiften konstant. Dieserbilene betaler veibruksavgift, det gjør ingen av de andre bilene. Eksterne kostnader fra støy, kø og ulykker er ikke inkludert. Miljøkostnaden inkluderer kostnaden for utslipp til luft, av CO₂, NO_x, SO₂ og svevestøv (PM). For dieserbilene blir kostnaden for alle de fire overnevnte kategoriene lagt til. Biogassbilene blir belastet for alt bortsett fra CO₂-kostnader. Hydrogen og elektriske biler betaler bare for svevestøvet som blir laget fra dekk og veislitasje.

Miljøkostnadene er basert på estimater for tilsvarende type kjøretøy som dem vi har inkludert i modellen. Vi kunne alternativt ha beregnet miljøkostnader basert på detaljerte data om forbruk

for hver av kjøretøyene. Miljøkostnadene som brukes i oppgaven, kan derfor avvike fra de reelle miljøkostnadene.

Sjåførens kjørestil påvirker hvor mye utslipp som kommer fra kjøreturen (Hovi & Mjøsund, 2019). Dermed kan en sjåfør som er bevisst på dette, bidra til at utslippene fra kjøreturen blir lavere enn utslippsestimatene. Vi har basert miljøkostnadene på estimater fra Løvold Rødseth et al (2019). Dersom Miniekspress har bevisstgjort sine sjåførere på hvordan de kjører miljøvennlig, kan altså disse estimatene være høyere enn de faktiske utslippene. På den andre siden kan også en mangel på opplæring om miljøvennlig kjøring, gjøre at det slippes ut mer enn estimatene. Det vil altså være en risiko for at miljøkostnadene blir feil, fordi de er basert på estimater. Vi valgte imidlertid å benytte oss av disse estimatene for enkelhets skyld.

En del av de bedriftsøkonomiske driftskostnadene, i stor grad hentet fra Grønland (2018). Kostnadsestimatene for kjøretøy tilsvarende til de vi har i modellen, gir ikke nødvendigvis et godt anslag på de virkelige kostnadene. Imidlertid har vi ikke hatt tilgang på slik data som kan gi et spesifikt estimat for hver enkelt biltype vi inkluderer i modellen.

5.7 Videre forskning

Modellen vår kan undersøkes videre, under andre forhold og forutsetninger. Dette kan gi grunnlag til videre forskning på dette temaet. Vi foreslår tre endringer som vil være interessant å se på videre:

I vår oppgave antok vi at rutene var fastsatte. I videre studier vil det være interessant å undersøke om en omlegging av rutene vil føre til andre resultater, ved at rutene blir optimalisert med tanke på kostnader og rekkevidden til de elektriske bilene. En slik ruteoptimalisering for elektriske kjøretøy er blant annet gjort i Sarker, et al. (2017). Da kan vi finne bedre måter å sette inn de elektriske lastebilene, ettersom kostnadene til disse var følsomme for om rekkevidden var lavere enn daglig kjøredistanse.

Det vil også være mulig å utvide modellen vår til å undersøke enda flere kjøretøyparker. Vi sammenlignet vår blandede kjøretøypark med den klimanøytrale kjøretøyparken, og så at noen av de samme endringene skjedde i allokering i begge kjøretøyparkene, bare med forskjellige miljøkostnader. Særlig aktuelt vil det være ved en utvidelse av modellen å ta med et alternativ som inkluderer enda flere nullutslippsbiler, for å undersøke hvordan et virkemiddel med krav om høyere andel nullutslippskjøretøy fungerer sammenlignet med en økning i miljøavgifter.

Dersom flere kjøretøy blir elektriske, vil det oppstå et større trykk på de ladestasjonene som finnes. Fra Kensin, et al., (2019) vet vi at også kø i ladesystemet kan skape ekstra ventetid, og vil dermed gi høyere forsinkelseskostnader for elektriske lastebiler dersom de må lynlade. Modellen vår kan i fremtiden utvides til å se på hvor stor innvirkning kostnaden ladekø vil ha, og om det vil påvirke allokeringen av kjøretøy. Da må plasseringene og ventetiden på for de forskjellige ladestasjonene også inn i modellen.

6. Konklusjon

Kostnadsmodellen og optimaliseringsmodellen ga grunnlag for å svare på problemstillingen som er:

Hvilke kjøretøy bør Miniexpress allokere til sine transportruter for å minimere sine bedriftsøkonomiske driftskostnader og miljøkostnader?

Optimaliseringsmodellen ble testet for tre ulike kjøretøyparker. Først vil vi besvare de fire forskningsspørsmålene våre, som leder ut ifra problemstillingen.

1) *Hvilken ruteallokering vil minimere de bedriftsøkonomiske driftskostnadene uten CO₂-avgift?* Dersom kostnadsmodellen kun ser på bedriftsøkonomiske driftskostnader vil diesel-lastebil være billigst for alle ruter bortsett fra én, hvor elektrisk lastebil er den billigste.

2) *Hvilken ruteallokering vil minimere de samfunnsøkonomiske kostnadene i form av bedriftsøkonomiske driftskostnader og miljøkostnader?* Ved å inkludere miljøkostnader på mediannivået for 2022-nivå, vil biogasslastebil være billigste løsning for alle rutene, med unntak av én rute. Økningen av CO₂ kostnadene må være høyere enn medianestimatet for å kunne påvirke om det er kostnadseffektivt med elektrisk- og hydrogenlastebil, sammenlignet med diesellastebil.

3) *Hvordan påvirker de viktigste faktorene ruteallokering og kostnader? En sensitivitetsanalyse.* Vi fant at rekkevidde (for elektrisk lastebil) og hydrogenpris hadde størst påvirkning på modellen. Disse påvirket også ruteallokering.

4) *Hvilken betydning vil de forskjellige lastebiltypene ha for den strategiske tilpasningen?*

Elektriske lastebiler kan være mest fordelaktige å benytte der det er korte daglige kjøredistanser, og for varer med lavere resulterende etterspørselsusikkerhet. Samtidig kan bruk av elektriske lastebiler øke etterspørselen av Miniexpress sine transporttjenester, fordi etterspørselen av utslippsfri transport øker.

For en Blandet kjøretøypark vil allokeringen av kjøretøy endre seg ved en CO₂-kostnad på 2030-mediannivå. For Euro VI og klimanøytral kjøretøypark endret allokeringen seg dersom miljøkostnader ble inkludert. Ved en rekkevidde for elektriske lastebiler på over 270 kilometer endres kjøretøyallokeringen i optimaliseringsmodellen. Før denne endringen vil den elektriske lastebilen alltid bli satt på den korteste ruten. Elektriske lastebiler er dyre å sette på ruter som har lang daglig kjørelengde. Dette kan forsterkes dersom logistikkostnadene til Miniexpress sine kunder tas hensyn til. Endringer i hydrogenprisen kan gi forskjellige ruteallokeringer i

optimaliseringsmodellen. Miljøkostnader kan ha betydning for ved hvilken rekkevidde for elektrisk lastebil og hvilken hydrogenpris for hydrogenlastebilen som gir en kostnadseffektiv løsning. Li, et al. (2018) fant også at elektriske busser var mindre kostandsdyktige ved å fjerne miljøkostnader.

Med dette kan vi svare følgende på problemstillingen vår:

Den elektriske lastebilen bør allokere til ruter med korte daglige kjøredistanser. Biogassbiler vil gi den laveste kostnaden for alle rutene, bortsett fra den korteste dersom miljøkostnadene stiger. Hydrogenlastebiler kan bli kostnadseffektivt ved redusert hydrogenpris. Hydrogenlastebilen ble kostnadseffektiv ved en hydrogenpris på 50 til 70 kroner per kilo, som er konsistent med Greensight (2017) sine funn. Allokeringens kostnaden for dieselkjøretøy vil øke ved økte miljøkostnader, og ved et høyt estimat av miljøkostnader vil dieselkjøretøy være det dyreste valget for nesten alle rutene.

Totalkostnaden vil bli lavest med en Blandet kjøretøypark. En fornybar kjøretøypark vil relativt sett bli billigere når miljøkostnaden øker, mens den dyreste kjøretøyparken vil bli Euro VI.

Resultatene kan ha gyldighet utover oppgaven. Rekkevidde for elektriske lastebiler og hydrogenpris hadde stor innflytelse på kostnadene. Det er knyttet stor usikkerhet til disse, og mye tyder på at disse kan påvirkes av teknologiutvikling i fremtiden. Dermed kan det være viktig i andre undersøkelser å ta hensyn til hvordan teknologien utvikler seg. Det er også tatt forutsetninger for elektrisk- og hydrogen-lastebiler, som gjør at lastebiltypene ikke nødvendigvis gjenspeiler dagens teknologi. Det er også gjort en lignende undersøkelse av Figenbaum et al. (2019, p. 121), hvor kostnadseffektiviteten til forskjellige kjøretøy ble sammenlignet. I denne studien ble investeringskostnader inkludert, noe som var en viktig faktor for å bestemme hvilket kjøretøy som var kostnadseffektivt, og særlig for hydrogenlastebiler var dette en stor kostnad. I vår oppgave inkluderte vi ikke investeringskostnader, som selvsagt kan være viktig for å forklare hvilke kjøretøy bedriftene kjøper. Magnus et al. (2018) og Figenbaum et al. (2019) har også diskutert viktigheten av infrastruktur, for at flere skal ta i bruk nye kjøretøyteknologier. I denne oppgaven har vi ikke diskutert infrastruktur, men dette vil også være et viktig element å ta med i analyser for andre case.

Modellen gir kun en kjøretøysallokering som ser på eksterne kostnader fra utslipp til luft, både klimagasser og lokale luftforurensinger. Analysen kan utvides til å også omfatte andre eksterne kostnader som er relevant ved veitransport, slik som støy, ulykkesrisiko og køkostnader. Det vil gi et bedre bilde av de totale samfunnsøkonomiske kostnadene av varetransporten, og

hvilken kjøretøyallokering som vil minimere disse. En modell som inkluderer de fulle samfunnsøkonomiske kostnadene kan også brukes til å finne riktig nivå på økonomiske virkemidler (som miljøavgifter) som kan internalisere alle de eksterne kostnadene, slik at de bedriftsøkonomiske driftskostnadene bedre reflekterer de samfunnsøkonomiske kostnadene.

Bibliografi

DHL International GmbH, 2019. *IN AN ERA OF ECO-CONSCIOUSNESS, A GREEN SUPPLY CHAIN IS THE FUTURE*. [Internett]

Available at: <https://lot.dhl.com/in-an-era-of-eco-consciousness-a-green-supply-chain-is-the-future/> [Funnet 12 05 2021].

Alimentation Couche-Tard Inc., 2020. *LADESTASJONER OG HURTIGLADING*. [Internett]

Available at: <https://circlekcharge.no/ladestasjoner> [Funnet 18 03 2021].

Altinn, 2020. *Merverdiavgift*. [Internett]

Available at: <https://www.altinn.no/starte-og-drive/skatt-og-avgift/avgift/merverdiavgift/> [Funnet 14 03 2021].

Ammenberg, J. et al., 2017. Biogas in the transport sector—actor and policy analysis focusing on the demand side in the Stockholm region. *Resources, Conservation and Recycling*, 20 10, pp. 70-80.

Bring, 2021. *Bring.no*. [Internett]

Available at: <https://www.bring.no/tjenester/adresstjenester/postnummer> [Funnet 23 Februar 2021].

Chopra, S., 2019. *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. 7 red. Harlow: Pearson Education.

Chopra, S. & Meindl, P., 2016. *Supply chain management Strategy, planning and operation - Global edition*. 6th red. Essex: Pearson Education Limited.

Dekker, R., Bloemhof, J. & Mallidis, I., 2012. Operations Research for green logistics – An overview of aspects, issues, contributions and challenges. *European Journal of Operational Research*, 16 June, Volume 219(Issue 3), pp. 671-679.

Det Kongelige Finansdepartementet, 2017. *Perspektivmeldingen 2017*, s.l.: Det Kongelige Finansdepartementet.

Det Kongelige Finansdepartementet, 2021. *Perspektivmeldingen 2021*, s.l.: Det Kongelige Finansdepartementet.

Det Kongelige Samferdselsdepartement, 2021. *Nasjonal transportplan 2022-2033*, Oslo: Det Kongelige Samferdselsdepartement.

Direktoratet for Økonomistyring, 2018. *Veileder i samfunnsøkonomiske analyser*, Oslo: Direktoratet for Økonomistyring.

Etatsgruppen Klimakur 2020, 2009. *Vurdering av framtidige kvotepriser: En rapport fra etatsgruppen Klimakur 2020*, Oslo: Statens forurensningstilsyn.

FEIL, A. H. et al., FEIL. *Bedrifters verdsetting av raskere og mer pålitelig transport*, Oslo: Transportøkonomisk institutt: Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning.

Figenbaum, E. et al., 2019. *360 graders analyse av potensiale for nullutslippskjøretøy*, Oslo: Transportøkonomisk institutt.

Fisher, M. L., 1997. What Is the Right Supply Chain for Your Product?. *Harvard Business Review*, March-April, pp. 83-93.

- Fridstrøm, L., 2020. *Prisen på Co2-utslipp i veitrafikken*, Oslo: Transportøkonomisk institutt: stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning.
- Fries, N., Jong, G. C. d. & Patters, Z., 2010. Shipper Willingness to Pay to Increase Environmental Performance in Freight Transportation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 01, Issue 1, pp. 33-42.
- Gassum, 2021. *Interjvu av Gassum om biogass* [Intervju] (04 03 2021).
- Greensight, 2017. *Hydrogen i tungtransporten*, s.l.: Greensight.
- Grønland, S. E., 2017. *Logistikkledelse*. 5 red. Oslo: Cappelen Damm AS.
- Grønland, S. E., 2018. *Kostnadsmodeller for transport og logistikk - basisår 2016*, Oslo: Transportøkonomisk institutt: Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning.
- Harkjerr Halse, A. et al., 2019. *Bedrifters verdsetting av raskere og mer pålitelig transport: Den norske verdsettingsstudien for godstransport 2018*, Oslo: Transportøkonomisk institutt (TØI).
- Haugeneland, P., 2020. *Priser hurtiglading for elbil*. [Internett]
Available at: <https://elbil.no/dette-koster-hurtiglading/?fbclid=IwAR3hQ-hvIKEczimJtxKYblqekajPopvITAfjVoet-JJheRXVDuFimf-UdWA>
[Funnet 27 05 2021].
- Hillier, F. & Hillier, M., 2014. *Introduction to Management Science: A Modeling and Case Studies Approach with Spreadsheets*. 5 red. New York: McGraw-Hill Irwin.
- Hooftman, N. et al., 2016. Environmental Analysis of Petrol, Diesel and Electric Passenger Cars in a Belgian Urban Setting. *Energies*, 29 Januar.
- Hovi, I. B. & Mjøsund, C., 2019. *Nye data kan gi smartere og renere lastebiltransport*. [Internett]
Available at: <https://samferdsel.toi.no/hjem/nye-data-kan-gi-smartere-og-renere-lastebiltransport-article34368-98.html>
[Funnet 19 05 2021].
- Keskin, M., Laporte, G. & Catay, B., 2019. Electric Vehicle Routing Problem with Time-Dependent Waiting Times at Recharging Stations. *Computers & Operations Research*, Juli, pp. 77-94.
- Lee, H. L., 2002. Aligning Supply Chain Strategies with Product Uncertainties. *California Management Review*, Spring, pp. 105-119.
- Li, L., Lo, H. K. & Cen, X., 2018. Mixed bus fleet management strategy for minimizing overall and emissions external costs. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Mai, pp. 104-118.
- Løvold Rødseth, K. et al., 2019. *Eksterne kostnader fra transport i Norge - Estimer for marginale skadekostnader for person- og godstransport*, Oslo: Transportøkonomisk institutt (TØI).
- Løvås, G. G., 2013. *Statistikk for universiteter og høyskoler*. 3 red. Oslo: Universitetsforlaget.
- Madslie, A., Steinsland, C. & Grønland, S. E., 2015. *Nasjonal godstransportmodell. En innføring i bruk av modellen*, Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Magnus, E., Lossius, T., Wikum, M. & Tennbakk, . B., 2018. *Teknologiutvikling og incentiver for klimavennlig næringstransport*, Oslo: THEMA Consulting Group.

- Miljødirektoratet, 2020. *Klimakur 2030: Slik kan utslippene kuttes*. [Internett]
Available at: <https://www.miljodirektoratet.no/aktuelt/nyheter/2020/januar-2020/klimakur-2030-slik-kan-utslippene-kuttes/>
[Funnet 28 Februar 2021].
- Miljødirektoratet, 2020. *Metan (CH4)*. [Internett]
Available at: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/metan-ch4/>
[Funnet 02 03 2021].
- Miljødirektoratet, 2021. *Biodrivstoff*. [Internett]
Available at: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/fornybar-energi/biodrivstoff/>
[Funnet 30 05 2021].
- Miljødirektoratet, 2021. *Klimagasser*. [Internett]
Available at: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/klimagasser/>
[Funnet 05 05 2021].
- Miniekspress, 2021. *Miniekspress*. [Internett]
Available at: <http://miniekspress.no/>
[Funnet 17 Februar 2021].
- Mjøsund, C. S., Jordbakke, G. N. & Hovi, I. B., 2018. *Små godsbiler: Bruksområder, transportytelser og potensiale for elektrifisering.*, Oslo: Transportøkonomisk institutt (TØI).
- Noregs vassdrags- og energidirektorat, 2021. *Hvor kommer strømmen fra?*. [Internett]
Available at: <https://www.nve.no/energiforsyning/kraftproduksjon/hvor-kommer-strommen-fra/?ref=mainmenu#:~:text=Beregningen%20viser%20at%20str%C3%B8mmen%20som,er%20tilnC3%A6rmet%20fri%20for%20utslipp.>
[Funnet 05 05 2021].
- Nor-Log Gruppen, 2021. *Miniekspress*. [Internett]
Available at: <https://www.nor-log.no/miniekspress>
[Funnet 17 Februar 2021].
- OECD, 2021. *Purchasing power parities (PPP)*. [Internett]
Available at: <https://data.oecd.org/conversion/purchasing-power-parities-ppp.htm>
[Funnet 5 Mars 2021].
- Quariguasi Frota Neto, J., Bloemhof-Ruwaard, J., van Nunen, J. & van Heck, E., 2008. Designing and evaluating sustainable logistics networks. *International Journal of Production Economics*, 02, Volume 111(Issue 2), pp. 195-208.
- Ragsdale, C. T., 2008. *Spreadsheet Modeling & Decision Analysis: A Practical Introduction to Management Science*. 5e red. Mason: Thomson South-Western.
- Samferdselsdepartementet, 2019. *Norge er elektrisk*. [Internett]
Available at: https://www.regjeringen.no/no/tema/transport-og-kommunikasjon/veg_og_vegtrafikk/faktaartikler-vei-og-ts/norge-er-elektrisk/id2677481/
[Funnet 15 05 2021].

Sarker, A., Shen, H. & Stankovic, J. A., 2017. MORP: Data-Driven Multi-Objective Route Planning and Optimization for Electric Vehicles. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, 12, p. 35.

SINTEF, 2016. *Hydrogen verdikjeder og potensial*, Trondheim: s.n.

Skatteetaten, 2021. *Avgift på elektrisk kraft*. [Internett]

Available at: <https://www.skatteetaten.no/bedrift-og-organisasjon/avgifter/saravgifter/om/elektrisk-kraft/>

[Funnet 18 03 2021].

Skatteetaten, 2021. *Avgift på mineralske produkter*. [Internett]

Available at: <https://www.skatteetaten.no/bedrift-og-organisasjon/avgifter/saravgifter/om/mineralske-produkter/>

[Funnet Februar 2021].

Statens vegvesen, 2020. *Statens vegvesen kjøretøyopplysninger*. [Internett]

Available at:

<https://www.vegvesen.no/kjoretoy/Kjop+og+salg/Kj%C3%B8ret%C3%B8yopplysninger/Om+tjenesten/om-tjenesten-kjoretoyopplysninger>

[Funnet April 2021].

Statistisk sentralbyrå, 2020. *Kostnadsindeks for lastebiltransport*. [Internett]

Available at: <https://www.ssb.no/statbank/table/12538/tableViewLayout1/>

[Funnet Mars 2021].

Statistisk sentralbyrå, 2021. *Elektrisitetspriser - 09364: Kraftpriser i sluttbrukermarkedet, etter kontraktstype, kvartal og statistikkvariabel*. [Internett]

Available at: <https://www.ssb.no/statbank/table/09364/tableViewLayout1/>

[Funnet 27 mai 2021].

Statistisk sentralbyrå, 2021. *Endringer i kommuner, fylker og hele landets befolkning*. [Internett]

Available at: <https://www.ssb.no/statbank/table/04861/>

[Funnet 23 Februar 2021].

Statistisk sentralbyrå, 2021. *Konsumprisindeks priskalkulator*. [Internett]

Available at: <https://www.ssb.no/kpi>

[Funnet 5 Mars 2021].

Statistisk sentralbyrå, 2021. *Priser på drivstoff*. [Internett]

Available at: <https://www.ssb.no/statbank/table/09654/tableViewLayout1/>

[Funnet Mars 2021].

Statistisk sentralbyrå, 2021. *Sal av petroleumsprodukt - 09654: Priser på drivstoff (kroner per liter), etter petroleumsprodukt, måned og statistikkvariabel*. [Internett]

Available at: <https://www.ssb.no/statbank/table/09654/tableViewLayout1/>

[Funnet 27 mai 2021].

Volvotrucks, 2019. *Volvotrucks*. [Internett]

Available at: <https://brochures.volvotrucks.com/hq/product-guides/electromobility-en-en/?page=24>

[Funnet Februar 2021].

Volvo Trucks, 2021. *Volvo Trucks - Volvo FL Electric*. [Internet]

Available at: <https://www.volvotrucks.no/no-no/trucks/trucks/volvo-fl/volvo-fl-electric.html>
[Funnet Februar 2021].

Vedlegg A - Data

Tabell 1A: oversikt over kjøreruter og hvilke lastebiler som danner utgangspunkt for hver av rutene. Alle lastebilene er diesel-lastebiler. Diesel-lastebilene klassifiseres enten som «diesel liten» eller «diesel stor».

Bilmodell	Tilsvarende rute	Klassifisering (diesel-lastebiler)
2018/ Volvo FM330	Rute 1	Diesel liten
2017/ Volvo FM330	Rute 2	Diesel liten
2017/ Volvo FM330	Rute 3	Diesel liten
2017/ Volvo FM330	Rute 4	Diesel liten
2017/ Volvo FM330	Rute 5	Diesel liten
2020/ Volvo FH500	Rute 6	Diesel stor
2020/ Volvo FH500	Rute 7	Diesel stor

Tabell 2A: Tidsavhengige og distanseavhengige kostnader (fremføringskostnad) for hver bilmodell og kjøretøypene for biogass-, el- og hydrogen-lastebil. Kostnadene er oppgitt i 2021-kroner. Kjøretøytype er oppgitt i parentes () for diesel-lastebiler. Alle kjøretøy er lastebiler. Hydrogenprisen er satt til 90 kroner per kilo inkludert MVA. Prisen på dieselpriisen er satt til 10,06 kroner per liter (fratrukket CO2-avgift). Prisen på biogass er satt til 15,6 kroner per kilo. CO2-avgift er trukket fra dieselpriisen og ingen miljøkostnader er inkludert. Alle priser unntatt hydrogenprisen er oppgitt ekskludert MVA. «Estimerte» betyr at kostnadene kun er basert på tilgjengelige estimater i rapport. «Beregnet» betyr at kostnadene er beregnet basert på tilgjengelige opplysninger fra Miniekspress og estimater fra rapport.

Bilmodell/ (kjøretøytype)	Tidsavhengige kostnader per time	Distanseavhengige kostnader per kilometer		
	Estimerte: Lønn, årsavgift, forsikring, øvrige kostnader	Estimerte: vedlikehold, vask & rekvisitta, dekk	Beregnet: drivstoff/ strøm, ekskludert MVA og CO2-avgift	Totalt distanseavhengige kostnader
2018/ Volvo FM330/ (diesel liten)	436,14	3,06	3,08	6,14
2017/ Volvo FM330/ (diesel liten)	436,14	3,06	3,06	6,12
2017/ Volvo FM330/ (diesel liten)	436,14	3,06	3,07	6,13
2017/ Volvo FM330/ (diesel liten)	436,14	3,06	3,02	6,08
2017/ Volvo FM330/ (diesel liten)	436,14	3,06	2,96	6,02
2020/ Volvo FH500/ (diesel stor)	436,14	3,06	2,85	5,91
2020/ Volvo FH500/ (diesel stor)	436,14	3,06	2,94	6,00
Biogass	436,14	3,06	4,23	7,29
Elektrisk	436,14	3,06	Avhengig av batteri-pålitelighet	3,06
Hydrogen	436,14	3,06	6,48	9,54

Tabell 3A: Kjøredistanser per dag etter ruter, oppgitt i kilometer. Total rutedistanse per uke er også oppgitt.

Rute	Distanser per dag i km etter rute					Totalt per uke
	16.11.2020	17.11.2020	18.11.2020	19.11.2020	20.11.2020	
Rute 1	296,07	438,9	188,24	401,64	246,73	1571,58
Rute 2	79,78	194,67	130,11	192,09	196,79	793,44
Rute 3	544,63	174,74	540,43	211,2	112,07	1583,07
Rute 4	324,59	279,23	186,08	459,08	189,64	1438,62
Rute 5	316,8	279,54	311,32	415,01	296,14	1618,81
Rute 6	455,94	451,02	430,49	409,4	398,44	2145,29
Rute 7	346,23	223,93	216,64	375,83	177,57	1340,2

Tabell 4A: Kjøretid for hver uke, for hver av rutene. Tiden er oppgitt i timer.

Rute	Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4	Rute 5	Rute 6	Rute 7
Tid	32	23	37	29	31	45	27

Tabell 5A: Fraktvektvekt for hver rute, gitt at det benyttes 90 prosent (%) fyllingsgrad. Vekt er oppgitt i kilo. Vekten er basert på tillatt fraktvekt fra lastebilene i tabell 1A.

Rute	Fraktvekt (90% fyllingsgrad i vekt)
Rute 1	3605
Rute 2	3695
Rute 3	3695
Rute 4	3263
Rute 5	3695
Rute 6	7043
Rute 7	6953

Tabell 6A: Laste og lossekostnader (terminalkostnader) for de forskjellige rutene. Laste og lossekostnader er basert på fraktvekten for hver av rutene i tabell 5A. Kostnadene er oppgitt i 2021-kroner.

Rute	Per uke for losse- og lastekostnader
Rute 1	7 785
Rute 2	7 979
Rute 3	7 979
Rute 4	7 046
Rute 5	7 979
Rute 6	15 209
Rute 7	15 015

Tabell 7A: Forsinkelseskostnader per time, basert på fraktvekten til hver av rutene i tabell 5A. Disse påløper dersom det er en elektrisk lastebil (EL) som kjører ruten, resulterer i ekstra ladetid ved lynlading. Oppgitt i kroner per rute, basert på fraktvekten til hver av rutene i tabell 5A. Kostnadene er oppgitt i 2021-kroner.

Rute	Forsinkelseskostnader per time
Rute 1	632
Rute 2	647
Rute 3	647
Rute 4	572
Rute 5	647
Rute 6	1 234
Rute 7	1 218

Tabell 8A: Bompengekostnader (fremføringskostnad, herunder reiseavhengig kostnad). Oppgitt i norske kroner per uke for de forskjellige rutene. Denne kostnaden påløper bare hos diesel-lastebilene som vist i tabell 1A. Bompengene er oppgitt i 2021-kroner.

Ruter	Bompenger per uke
Rute 1	1 159
Rute 2	727
Rute 3	1 539
Rute 4	1 149
Rute 5	1 392
Rute 6	2 264
Rute 7	681

Tabell 9A: Miljøkostnader per kilometer for alle kjøretøytyper. Alle kostnader er oppgitt i 2021 nivå, med 2021-kroner. CO₂-kostnadene er oppjustert til 2021-verdier med medianestimatet. Kostnadene er oppgitt per kilometer (km).

Årsmodell/ modellvariant	Co ₂ -kostnader per km			Lokale kostnader (Elektrisk lastebil inkluderer kun svevestøv) per km		
	Spredt bebyggelse	Tettsted (15000 - 100 000)	Tettsted (>100 000)	Spredt bebyggelse	Tettsted (15000 - 100 000)	Tettsted (>100 000)
Diesel liten	0,668	0,721	0,721	0,010	0,241	1,938
Diesel stor	0,668	0,721	0,721	0,010	0,241	1,938
Biogass	0,000	0,000	0,000	0,010	0,241	1,938
Elektrisk	0,000	0,000	0,000	0,000	0,189	1,708
Hydrogen	0,000	0,000	0,000	0,000	0,189	1,708

Tabell 10A: Drivstofforbruk per kilometer (km) etter kjøretøytype. Kjøretøytype er oppgitt i parentes () for diesel-lastebiler. Forbruk for diesel-lastebiler er oppgitt i liter per kilometer (km). Forbruk for biogass og hydrogen-lastebil er oppgitt i kilo per kilometer.

Bilmodell/ (kjøretøytype)	Forbruk per km
2018/ Volvo FM330 (diesel liten)	0,306
2017/ Volvo FM330 (diesel liten)	0,304
2017/ Volvo FM330 (diesel liten)	0,305
2017/ Volvo FM330 (diesel liten)	0,300
2017/ Volvo FM330 (diesel liten)	0,294
2020/ Volvo FH500 (diesel stor)	0,283
2020/ Volvo FH500 (diesel stor)	0,292
Biogass	0,271
Elektrisk	Avhengig av batteri-pålitelighet
Hydrogen	0,090

Vedlegg B - Resultater

Tabell 1B: Kostnadsoversikt for de forskjellige rutene og kjøretøyene, med medianestimatet for CO₂-kostnader. Tabellen viser resultater for forskjellige miljøkostnader fra år 2022 til 2030, ved oppjustering med medianestimatet for CO₂-kostnaden. Hydrogenpris er satt til 90 kroner per kilo inkludert MVA, og rekkevidden for elektriske lastebiler (EL) til 200 kilometer. De grønne rutene viser hvilke valg av bil som gir den laveste kostnaden. *: Diesel liten kan ikke kjøres på rute 6 og 7. Derfor er ikke kostnaden mulig å beregne på de rutene for diesel liten. Totalkostnaden vil heller ikke gi et representativt bilde for diesel liten, og er derfor utelatt. Kostnadene er oppgitt i 2021-kroner.

Medianestimat på CO ₂ -pris og årsvekst i lokale utslippskostnader						
2022		Diesel liten	Diesel stor	EL	Biogass	Hydrogen
	Rute 1	34 268	34 042	40 392	33 636	37 092
	Rute 2	24 379	24 265	21 033	23 907	25 652
	Rute 3	37 341	37 113	45 555	36 317	39 768
	Rute 4	31 631	31 424	35 205	30 946	34 068
	Rute 5	35 191	34 958	41 745	34 337	37 835
	Rute 6*		52 040	76 667	50 843	55 607
	Rute 7*		36 733	42 397	36 701	39 652
	Totalkostnad*	<u>162 809</u>	<u>250 575</u>	<u>302 994</u>	<u>246 686</u>	<u>269 674</u>
2023		Diesel liten	Diesel stor	EL	Biogass	Hydrogen
	Rute 1	34 502	34 276	40 395	33 640	37 096
	Rute 2	24 499	24 385	21 034	23 909	25 653
	Rute 3	37 582	37 354	45 560	36 323	39 773
	Rute 4	31 852	31 645	35 211	30 953	34 074
	Rute 5	35 439	35 206	41 753	34 346	37 843
	Rute 6*		52 351	76 669	50 845	55 609
	Rute 7*		36 932	42 400	36 704	39 655
	Totalkostnad*	<u>163 875</u>	<u>252 150</u>	<u>303 022</u>	<u>246 720</u>	<u>269 702</u>
2024		Diesel liten	Diesel stor	EL	Biogass	Hydrogen
	Rute 1	34 737	34 511	40 398	33 644	37 099
	Rute 2	24 619	24 505	21 036	23 910	25 655
	Rute 3	37 824	37 596	45 566	36 330	39 778
	Rute 4	32 073	31 866	35 217	30 960	34 079
	Rute 5	35 687	35 454	41 761	34 355	37 851
	Rute 6*		52 662	76 671	50 847	55 610
	Rute 7*		37 131	42 402	36 707	39 658
	Totalkostnad*	<u>164 941</u>	<u>253 725</u>	<u>303 050</u>	<u>246 754</u>	<u>269 730</u>
2025		Diesel liten	Diesel stor	EL	Biogass	Hydrogen
	Rute 1	34 972	34 746	40 402	33 648	37 102
	Rute 2	24 739	24 625	21 037	23 912	25 656
	Rute 3	38 065	37 837	45 571	36 336	39 784
	Rute 4	32 295	32 088	35 222	30 967	34 085
	Rute 5	35 935	35 702	41 769	34 365	37 859
	Rute 6*		52 973	76 672	50 850	55 612
	Rute 7*		37 329	42 405	36 711	39 660
	Totalkostnad*	<u>166 006</u>	<u>255 301</u>	<u>303 079</u>	<u>246 788</u>	<u>269 759</u>
2026		Diesel liten	Diesel stor	EL	Biogass	Hydrogen

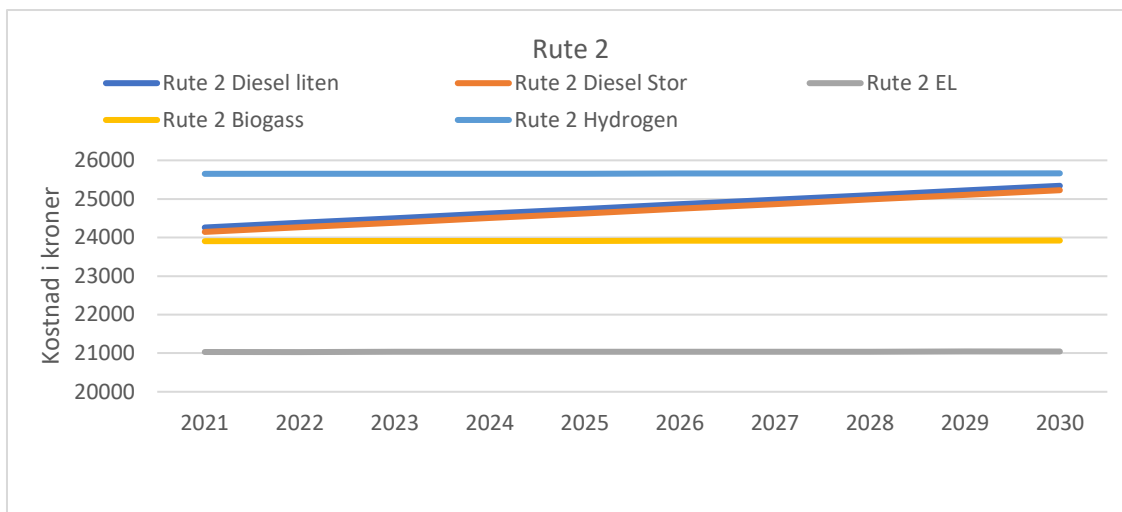
	Rute 1	35 207	34 981	40 405	33 652	37 106
	Rute 2	24 859	24 745	21 038	23 914	25 658
	Rute 3	38 307	38 079	45 576	36 342	39 789
	Rute 4	32 516	32 309	35 228	30 974	34 091
	Rute 5	36 184	35 951	41 778	34 374	37 867
	Rute 6*		53 283	76 674	50 852	55 614
	Rute 7*		37 528	42 408	36 714	39 663
	Totalkostnad*	<u>167 073</u>	<u>256 877</u>	<u>303 108</u>	<u>246 823</u>	<u>269 788</u>
2027		Diesel liten	Diesel stor	EL	Biogass	Hydrogen
	Rute 1	35 442	35 216	40 408	33 656	37 109
	Rute 2	24 980	24 865	21 040	23 916	25 659
	Rute 3	38 548	38 321	45 582	36 349	39 794
	Rute 4	32 738	32 531	35 234	30 981	34 097
	Rute 5	36 432	36 199	41 786	34 384	37 876
	Rute 6*		53 594	76 676	50 855	55 616
	Rute 7*		37 727	42 411	36 717	39 666
	Totalkostnad*	<u>168 139</u>	<u>258 453</u>	<u>303 137</u>	<u>246 858</u>	<u>269 817</u>
2028		Diesel liten	Diesel stor	EL	Biogass	Hydrogen
	Rute 1	35 676	35 450	40 412	33 661	37 112
	Rute 2	25 100	24 986	21 041	23 918	25 660
	Rute 3	38 790	38 562	45 587	36 355	39 800
	Rute 4	32 959	32 752	35 240	30 988	34 103
	Rute 5	36 680	36 447	41 794	34 394	37 884
	Rute 6*		53 905	76 678	50 857	55 618
	Rute 7*		37 926	42 413	36 721	39 669
	Totalkostnad*	<u>169 206</u>	<u>260 030</u>	<u>303 166</u>	<u>246 893</u>	<u>269 846</u>
2029		Diesel liten	Diesel stor	EL	Biogass	Hydrogen
	Rute 1	35 911	35685	40415	33665	37116
	Rute 2	25 220	25106	21043	23919	25662
	Rute 3	39 032	38804	45593	36362	39806
	Rute 4	33 181	32974	35246	30995	34109
	Rute 5	36 929	36696	41803	34404	37892
	Rute 6*		54216	76680	50859	55620
	Rute 7*		38125	42416	36724	39671
	Totalkostnad*	<u>170 273</u>	<u>261606</u>	<u>303196</u>	<u>246928</u>	<u>269876</u>
2030		Diesel liten	Diesel stor	EL	Biogass	Hydrogen
	Rute 1	36 146	35 920	40 419	33 669	37 119
	Rute 2	25 340	25 226	21 044	23 921	25 663
	Rute 3	39 274	39 046	45 598	36 369	39 811
	Rute 4	33 402	33 195	35 253	31 002	34 115
	Rute 5	37 177	36 944	41 811	34 414	37 901
	Rute 6*		54 527	76 682	50 862	55 622
	Rute 7*		38 324	42 419	36 727	39 674
	Totalkostnad*	<u>171 340</u>	<u>263 184</u>	<u>303 226</u>	<u>246 964</u>	<u>269 906</u>

Tabell 2B: Kostnadsoversikt for de forskjellige rutene og kjøretøyene, med lavt estimat på CO2-kostnadene. Tabellen viser resultater for forskjellige miljøkostnader fra år 2022 til 2030, ved oppjustering med lavt estimat for CO2-kostnaden. Hydrogenpris er satt til 90 kroner per kilo inkludert MVA, og rekkevidden for elektriske lastebiler (EL) til 200 kilometer. De grønne rutene viser hvilke valg av bil som gir den laveste kostnaden. *: Diesel liten kan ikke kjøres på rute 6 og 7. Derfor er ikke kostnaden mulig å beregne på de rutene for diesel liten. Totalkostnaden vil heller ikke gi et representativt bilde for diesel liten, og er derfor utelatt. Kostnadene er oppgitt i 2021-kroner.

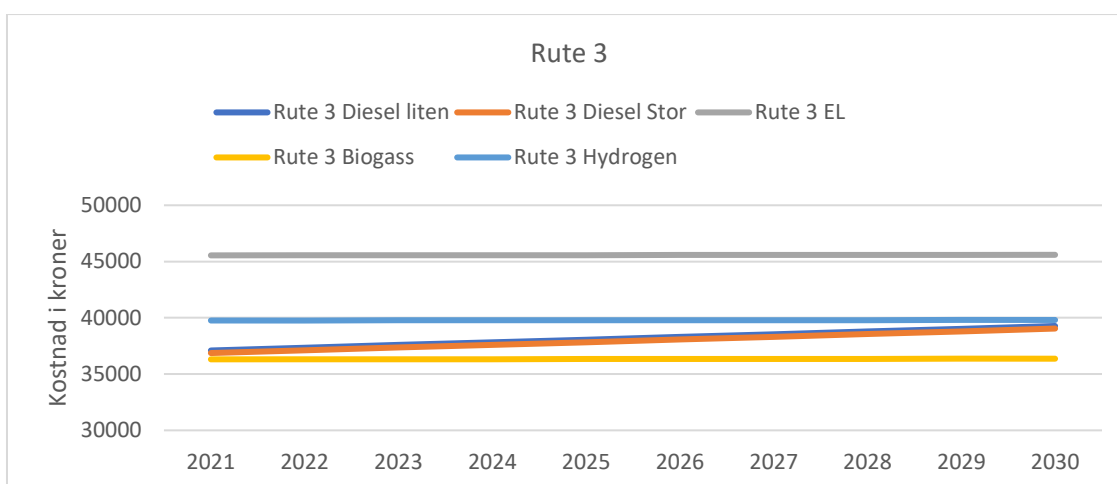
Lagt estimat på CO2-pris og årsvekst i lokale utslippskostnader						
2021		Diesel liten	Diesel stor	EL	Biogass	Hydrogen
	Rute 1	33 912	33 686	40 389	33 632	37 089
	Rute 2	24 197	24 082	21 031	23 905	25 651
	Rute 3	36 976	36 748	45 550	36 311	39 762
	Rute 4	31 297	31 090	35 199	30 939	34 062
	Rute 5	34 818	34 585	41 737	34 328	37 827
	Rute 6*		51 567	76 665	50 840	55 605
	Rute 7*		36 431	42 394	36 698	39 650
	Totalkostnad*	<u>161 199</u>	<u>248 190</u>	<u>302 966</u>	<u>246 653</u>	<u>269 646</u>
2025		Diesel liten	Diesel stor	EL	Biogass	Hydrogen
	Rute 1	34 608	34 382	40 402	33 648	37 102
	Rute 2	24 553	24 438	21 037	23 912	25 656
	Rute 3	37 694	37 467	45 571	36 336	39 784
	Rute 4	31 957	31 750	35 222	30 967	34 085
	Rute 5	35 559	35 326	41 769	34 365	37 859
	Rute 6*		52 486	76 672	50 850	55 612
	Rute 7*		37 021	42 405	36 711	39 660
	Totalkostnad*	<u>164 371</u>	<u>252 870</u>	<u>303 079</u>	<u>246 788</u>	<u>269 759</u>
2030		Diesel liten	Diesel stor	EL	Biogass	Hydrogen
	Rute 1	35 479	35 253	40 419	33 669	37 119
	Rute 2	24 998	24 884	21 044	23 921	25 663
	Rute 3	38 594	38 366	45 598	36 369	39 811
	Rute 4	32 783	32 576	35 253	31 002	34 115
	Rute 5	36 487	36 254	41 811	34 414	37 901
	Rute 6*		53 635	76 682	50 862	55 622
	Rute 7*		37 759	42 419	36 727	39 674
	Totalkostnad*	<u>168 341</u>	<u>258 727</u>	<u>303 226</u>	<u>246 964</u>	<u>269 906</u>

Tabell 3B: Kostnadsoversikt for de forskjellige rutene og kjøretøyene, med høyt estimat av CO2-kostnader. Tabellen viser resultater for forskjellige miljøkostnader fra år 2022 til 2030, ved oppjustering med høyt estimat for CO2-kostnaden. Hydrogenpris er satt til 90 kroner per kilo inkludert MVA, og rekkevidden for elektriske lastebiler (EL) til 200 kilometer. De grønne rutene viser hvilke valg av bil som gir den laveste kostnaden. *: Diesel liten kan ikke kjøres på rute 6 og 7. Derfor er ikke kostnaden mulig å beregne på de rutene for diesel liten. Totalkostnaden vil heller ikke gi et representativt bilde for diesel liten, og er derfor utelatt. Kostnadene er oppgitt i 2021-kroner.

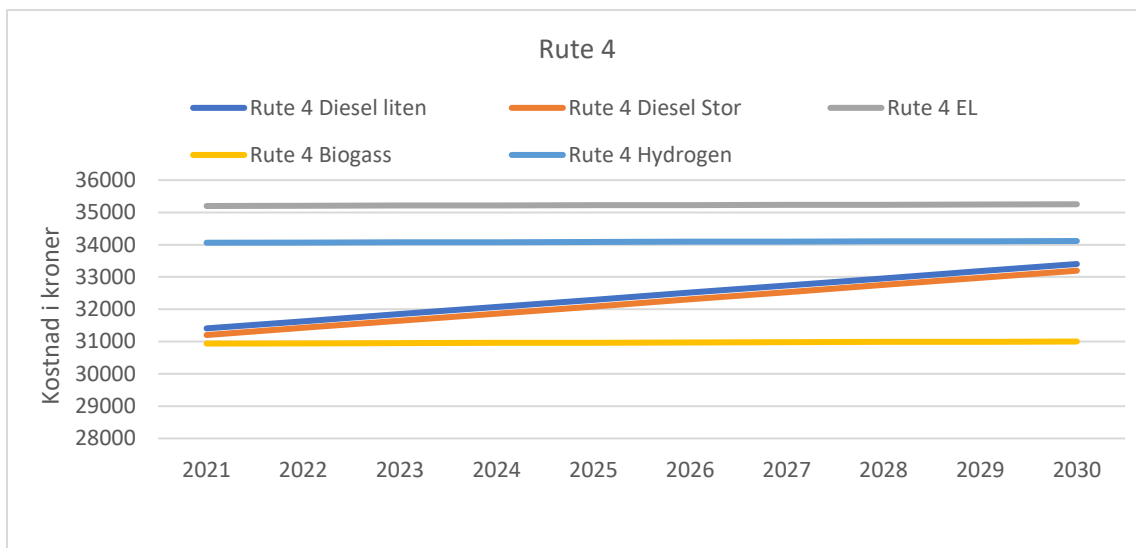
Høyt estimat på CO2-pris og årsvekst i lokale utslippskostnader						
2021		Diesel liten	Diesel stor	EL	Biogass	Hydrogen
	Rute 1	35 145	34919	40389	33632	37089
	Rute 2	24 829	24715	21031	23905	25651
	Rute 3	38 232	38005	45550	36311	39762
	Rute 4	32 443	32236	35199	30939	34062
	Rute 5	36 093	35860	41737	34328	37827
	Rute 6*		53216	76665	50840	55605
	Rute 7*		37477	42394	36698	39650
	Totalkostnad*	<u>166 742</u>	<u>256427</u>	<u>302966</u>	<u>246653</u>	<u>269646</u>
2025		Diesel liten	Diesel stor	EL	Biogass	Hydrogen
	Rute 1	38 307	38 081	40 402	33 648	37 102
	Rute 2	26 451	26 336	21 037	23 912	25 656
	Rute 3	41 465	41 237	45 571	36 336	39 784
	Rute 4	35 394	35 187	35 222	30 967	34 085
	Rute 5	39 385	39 152	41 769	34 365	37 859
	Rute 6*		57 431	76 672	50 850	55 612
	Rute 7*		40 157	42 405	36 711	39 660
	Totalkostnad*	<u>181 001</u>	<u>277 581</u>	<u>303 079</u>	<u>246 788</u>	<u>269 759</u>
2030		Diesel liten	Diesel stor	EL	Biogass	Hydrogen
	Rute 1	42 261	42 035	40 419	33 669	37 119
	Rute 2	28 478	28 364	21 044	23 921	25 663
	Rute 3	45 506	45 278	45 598	36 369	39 811
	Rute 4	39 084	38 877	35 253	31 002	34 115
	Rute 5	43 502	43 269	41 811	34 414	37 901
	Rute 6*		62 700	76 682	50 862	55 622
	Rute 7*		43 508	42 419	36 727	39 674
	Totalkostnad*	<u>198 830</u>	<u>304 030</u>	<u>303 226</u>	<u>246 964</u>	<u>269 906</u>



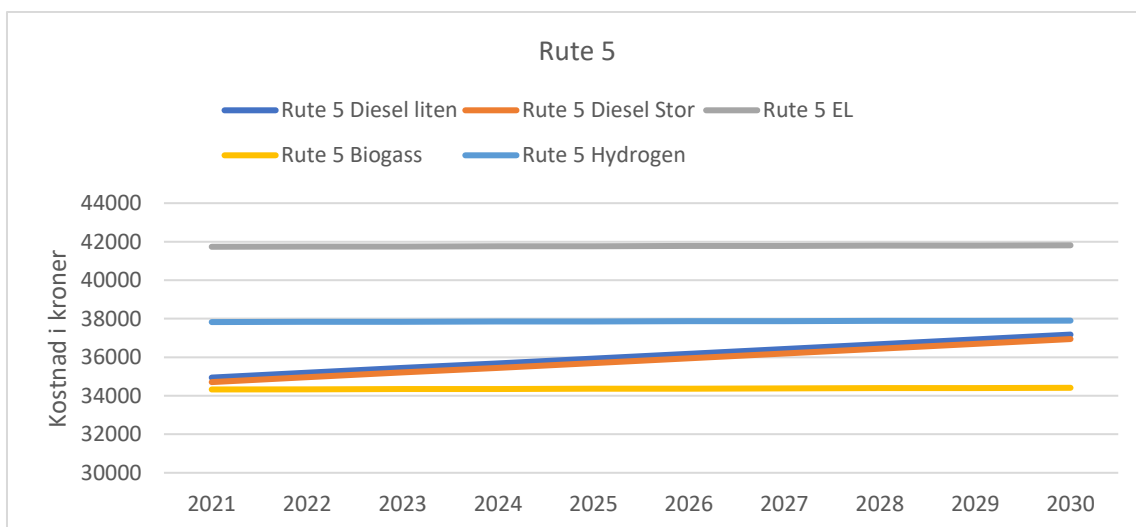
Figur 1B: Kostnadsutvikling i 2021-kroner for rute 2 ved realprisjustering for lokale utslippskostnader og økning av CO2-kostnaden ved medianestimater fra 2021 til 2030. Hydrogenprisen er 90 kroner per kilo inkludert MVA og rekkevidden er satt til 200 kilometer for elektrisk lastebil (EL).



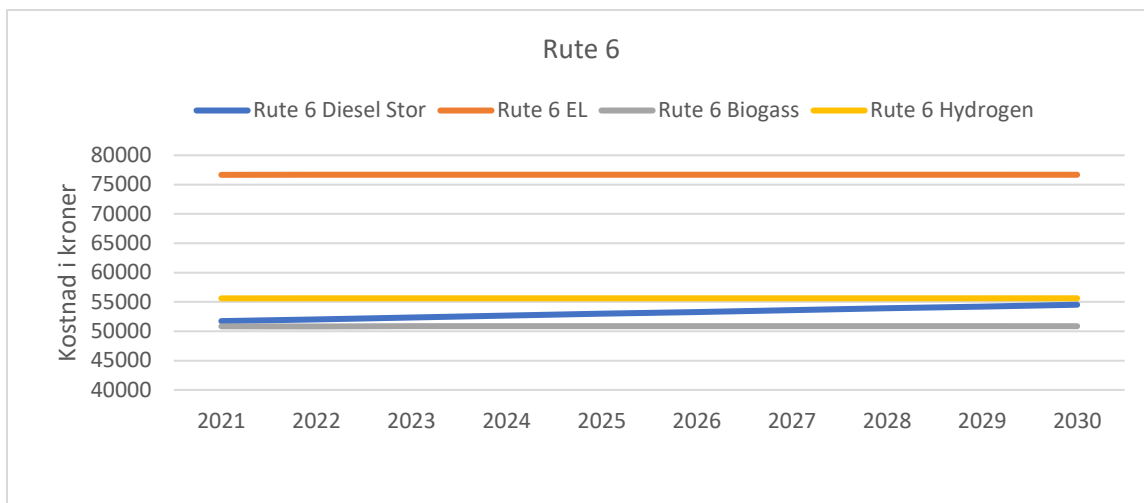
Figur 2B: Kostnadsutvikling i 2021-kroner for rute 3 ved realprisjustering for lokale utslippskostnader og økning av CO2-kostnaden ved medianestimater fra 2021 til 2030. Hydrogenprisen er 90 kroner per kilo inkludert MVA og rekkevidden er satt til 200 kilometer for elektrisk lastebil (EL).



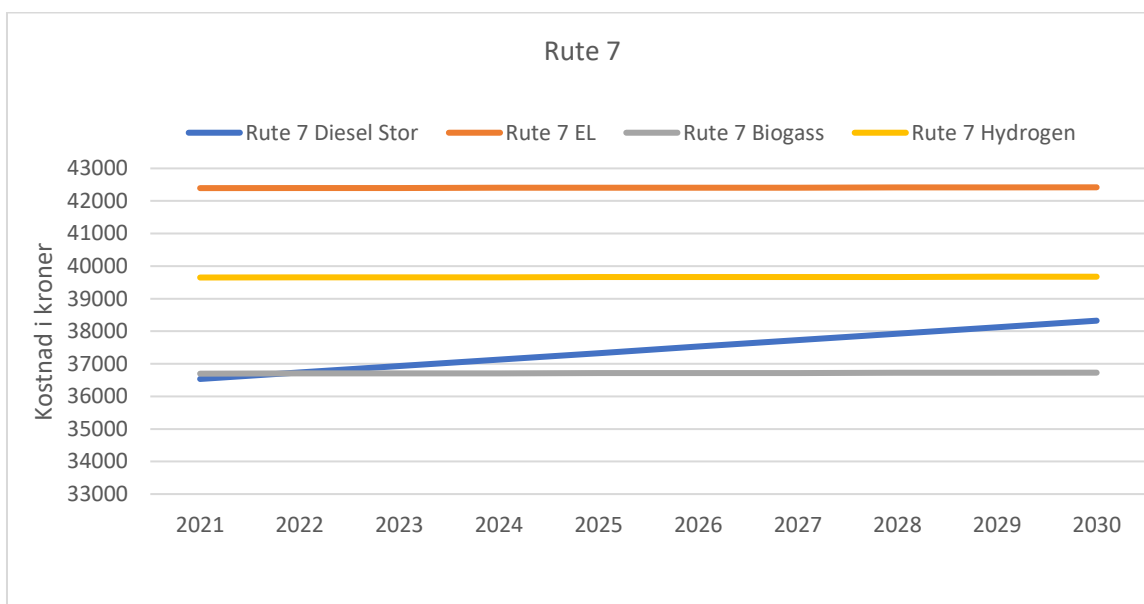
Figur 3B: Kostnadsutvikling i 2021-kroner for rute 4 ved realprisjustering for lokale utslippskostnader og økning av CO2-kostnaden ved medianestimatet fra 2021 til 2030. Hydrogenprisen er 90 kroner per kilo inkludert MVA og rekkevidden er satt til 200 kilometer for elektrisk lastebil (EL).



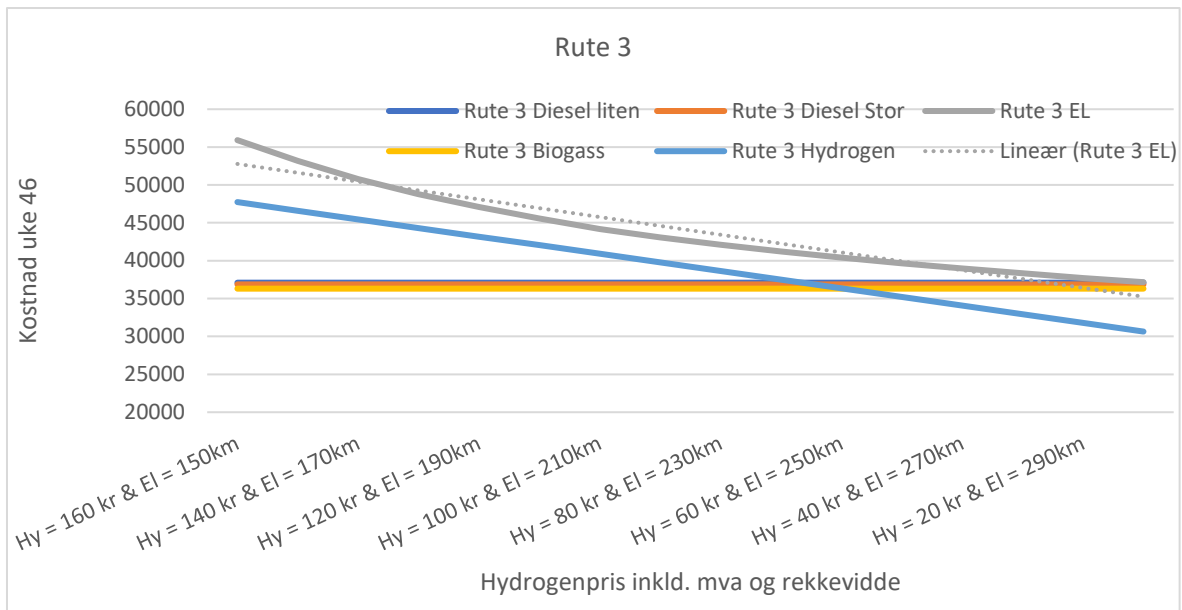
Figur 4B: Kostnadsutvikling i 2021-kroner for rute 5 ved realprisjustering for lokale utslippskostnader og økning av CO2-kostnaden ved medianestimatet fra 2021 til 2030. Hydrogenprisen er 90 kroner per kilo inkludert MVA og rekkevidden er satt til 200 kilometer for elektrisk lastebil (EL).



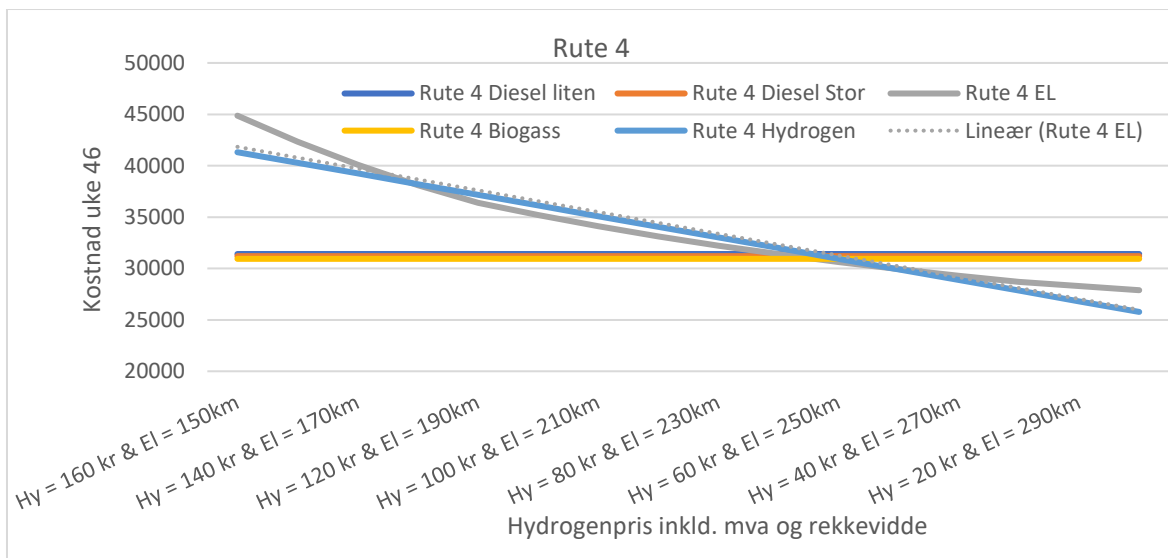
Figur 5B: Kostnadsutvikling i 2021-kroner for rute 6 ved realprisjustering for lokale utslippskostnader og økning av CO₂-kostnaden ved medianestimater fra 2021 til 2030. Hydrogenprisen er 90 kroner per kilo inkludert MVA og rekkevidden er satt til 200 kilometer for elektrisk lastebil (EL).



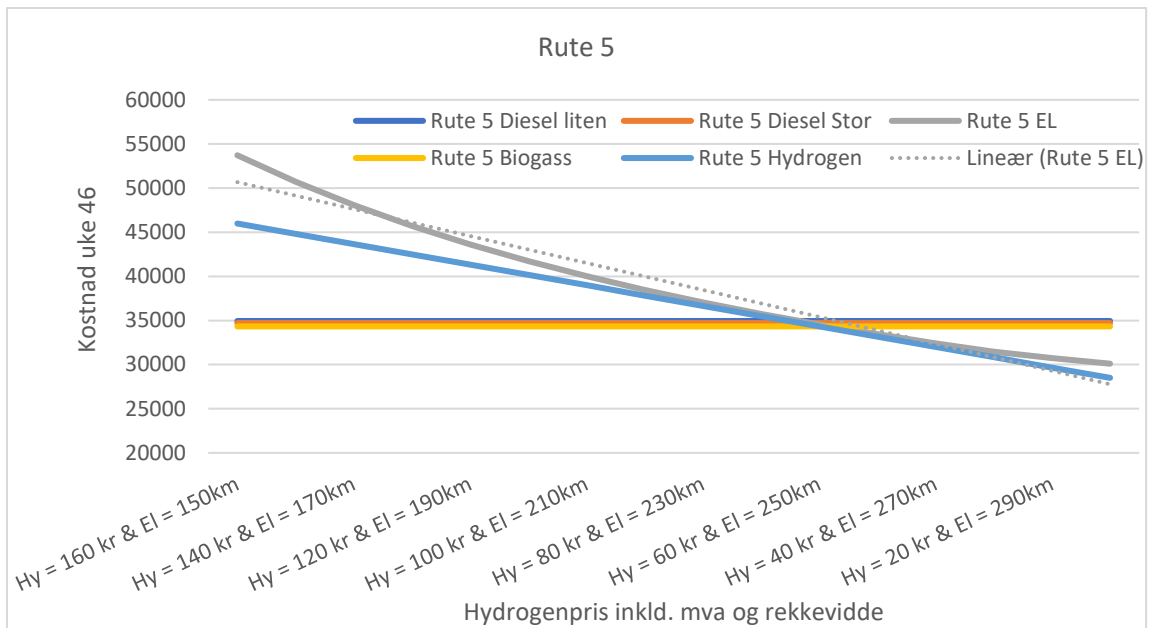
Figur 6B: Kostnadsutvikling i 2021-kroner for rute 7 ved realprisjustering for lokale utslippskostnader og økning av CO₂-kostnaden ved medianestimater fra 2021 til 2030. Hydrogenprisen er 90 kroner per kilo inkludert MVA og rekkevidden er satt til 200 kilometer for elektrisk lastebil (EL).



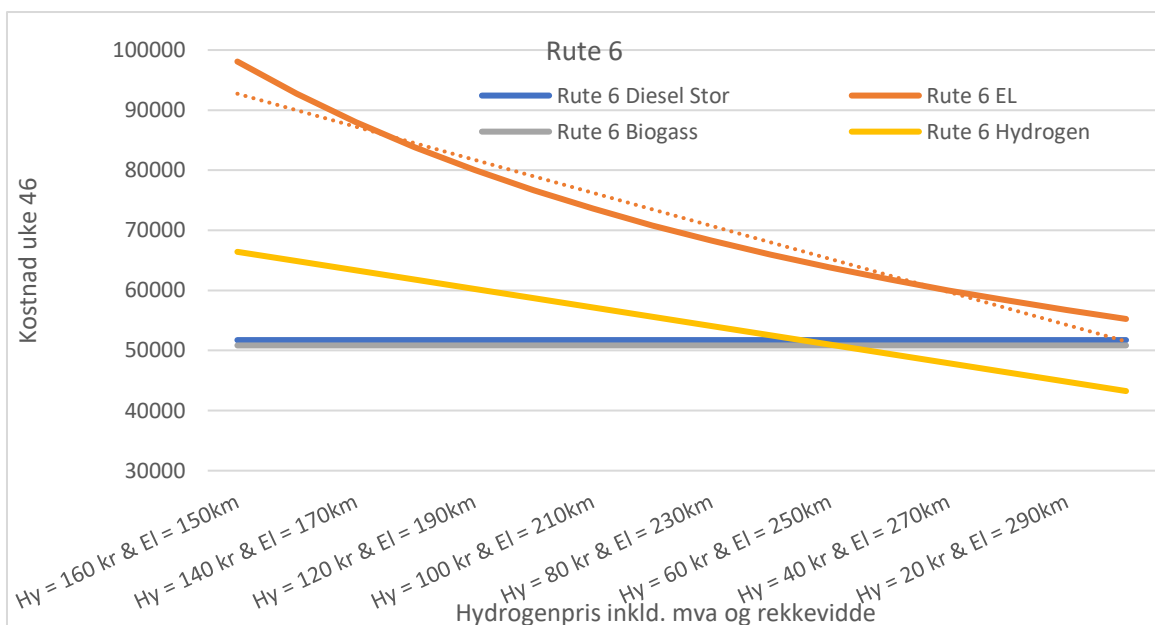
Figur 7B: Kostnadsutvikling i norske kroner for rute 3 med variasjon i rekkevidde fra 150 til 300 kilometer for elektrisk lastebil (El) og variasjon i hydrogenpris (Hy) fra 160 til 10 NOK inkludert MVA. Miljøkostnader er satt til 2021-nivå, der CO2-kostnadene er satt til medianestimat. Kostnaden er oppgitt i 2021-kroner.



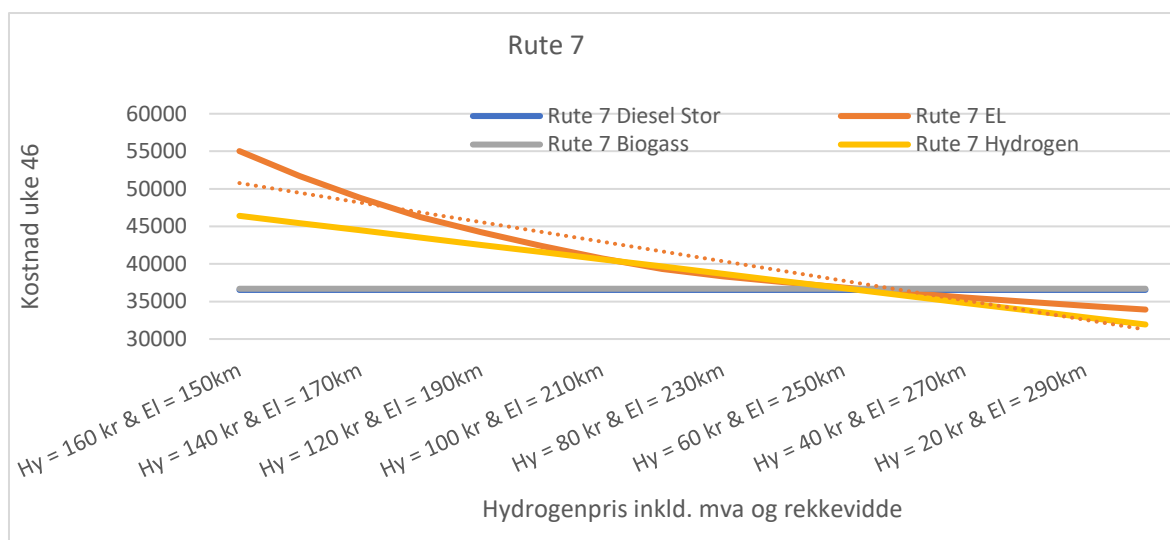
Figur 8B: Kostnadsutvikling i norske kroner for rute 4 med variasjon i rekkevidde fra 150 til 300 kilometer for elektrisk lastebil (El) og variasjon i hydrogenpris (Hy) fra 160 til 10 NOK inkludert MVA. Miljøkostnader er satt til 2021-nivå, der CO2-kostnadene er satt til medianestimat. Kostnaden er oppgitt i 2021-kroner.



Figur 9B: Kostnadsutvikling i norske kroner for rute 5 med variasjon i rekkevidde fra 150 til 300 kilometer for elektrisk lastebil (El) og variasjon i hydrogenpris (Hy) fra 160 til 10 NOK inkludert MVA. Miljøkostnader er satt til 2021-nivå, der CO₂-kostnadene er satt til medianestimat. Kostnaden er oppgitt i 2021-kroner.



Figur 10B: Kostnadsutvikling i norske kroner for rute 6 med variasjon i rekkevidde fra 150 til 300 kilometer for elektrisk lastebil (El) og variasjon i hydrogenpris (Hy) fra 160 til 10 NOK inkludert MVA. Miljøkostnader er satt til 2021-nivå, der CO₂-kostnadene er satt til medianestimat. Kostnaden er oppgitt i 2021-kroner.



Figur 11B: Kostnadsutvikling i norske kroner for rute 7 med variasjon i rekkevidde fra 150 til 300 kilometer for elektrisk lastebil (EL) og variasjon i hydrogenpris fra 160 til 10 NOK inkludert MVA. Miljøkostnader er satt til 2021-nivå, der CO2-kostnadene er satt til medianestimat. Kostnaden er oppgitt i 2021-kroner.

Tabell 4B: Kjøretøyallokering, ved inkludering av miljøkostnader fra 2021 til 2030 med de tre scenarioene median, høy og lav for CO2-kostnader. Hydrogenpris er satt til 90 kroner per kilo inkludert MVA og rekkevidde til 200 kilometer for elektrisk lastebil (EL). Under feltet «uten miljøkostnader» er miljøkostnadene, inkludert dagens CO2-avgift fjernet. De gule rutene markerer hvor kjøretøyallokeringen endres. Kostnaden er oppgitt i 2021-kroner.

	2021			2025			2030			Uten miljøkostnader
	Median	Høy	Lav	Median	Høy	Lav	Median	Høy	Lav	
Rute 1	Diesel liten	Diesel liten	Diesel liten	Diesel liten	Diesel stor	Diesel liten	Diesel stor	Diesel stor	Diesel liten	Diesel liten
Rute 2	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
Rute 3	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Hydrogen	Biogass	Hydrogen	Hydrogen	Biogass	Biogass
Rute 4	Hydrogen	Hydrogen	Hydrogen	Hydrogen	Diesel liten	Hydrogen	Diesel liten	Diesel liten	Hydrogen	Hydrogen
Rute 5	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Biogass	Diesel stor	Biogass	Biogass	Diesel stor	Diesel stor
Rute 6	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass
Rute 7	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor
Kostnad ved allokering	<u>247 522</u>	<u>250 726</u>	<u>247 173</u>	<u>250 312</u>	<u>259 667</u>	<u>249 263</u>	<u>253 776</u>	<u>270 757</u>	<u>251 883</u>	<u>240 736</u>

Tabell 5B: Sensitivitetsanalyse for endringer i rekkevidden til elektriske lastebiler (EL) fra 150 til 310 kilometer. Hydrogenprisen er satt til 90 kroner per kilo inkludert MVA. Miljøkostnadene er på 2021-nivå, der CO2-kostnaden er på medianestimatet. Kjøretøyparken er blandet kjøretøypark. Gule felt markerer et skifte i kjøretøysallokeringen. Kostnaden er oppgitt i 2021-kroner.

	150	170	190	210	230	250	270	290	310
Rute 1	Diesel liten	Diesel liten	Diesel liten	Diesel liten	Diesel liten	Diesel liten	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor
Rute 2	EL	EL	EL	EL	EL	EL	Hydrogen	Hydrogen	Hydrogen
Rute 3	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass
Rute 4	Hydrogen	Hydrogen	Hydrogen	Hydrogen	Hydrogen	Hydrogen	Diesel liten	Diesel liten	Diesel liten
Rute 5	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	EL	EL	EL
Rute 6	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass
Rute 7	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor
Kostnad ved allokering	<u>251 533</u>	<u>249 479</u>	<u>247 857</u>	<u>247 497</u>	<u>247 454</u>	<u>247 418</u>	<u>246 970</u>	<u>245 289</u>	<u>244 150</u>

Tabell 6B: Sensitivitetsanalyse for endringer av hydrogenprisen mellom 10 og 130 kroner per kilo inkludert MVA. Rekkevidden på elektrisk lastebil (EL) er satt til 200 kilometer. Miljøkostnadene er på 2021-nivå, der CO2-kostnaden er på medianestimatet. Kjøretøyparken er blandet kjøretøypark. Gule felt markerer et skifte i kjøretøysallokeringen. Kostnaden er oppgitt i 2021-kroner.

	10	20	30	40	50	60	70	80	90	120	130
Rute 1	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel liten	Diesel liten	Diesel liten	Diesel stor
Rute 2	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
Rute 3	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass
Rute 4	Diesel liten	Diesel liten	Diesel liten	Diesel liten	Diesel liten	Diesel liten	Diesel liten	Hydrogen	Hydrogen	Hydrogen	Diesel liten
Rute 5	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Hydrogen	Hydrogen	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor
Rute 6	Hydrogen	Hydrogen	Hydrogen	Hydrogen	Hydrogen	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass	Biogass
Rute 7	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor	Hydrogen
Kostnad ved allokering	236 669	238 213	239 758	241 302	242 847	244 263	245 429	246 486	247 522	250 630	251 619

Tabell 7B: Sensitivitetsanalyse for endring av biogasspris ved 20 prosent (%) økning i biogasspris. Det tilsvarer 18,72 kroner per liter. 15,6 tilsvarer prisen per liter i kroner, før økningen. Prisen på lynlading er satt til 3,99 kroner. Prisen på vanlig lading (på terminalen til Miniekspress) er satt til 0,33 kroner. Prisen på diesel er satt til 10,06 kroner (ekskludert CO2-avgift). Hydrogenprisen for hydrogen-lastebiler er satt til 90 kroner inkludert MVA. Alle priser unntatt hydrogenprisen er oppgitt ekskludert MVA. Rekkevidden på elektrisk lastebil (EL) er satt til 200 kilometer. Miljøkostnadene er på 2021-nivå, der CO2-kostnaden er på medianestimatet. Allokeringen gjelder for en blandet kjøretøypark, som er beskrevet i tabell 4.5. priser og kostnader er oppgitt i 2021-kroner.

	15,6	18,72 (20% økning)
Rute 1	Diesel liten	Diesel liten
Rute 2	EL	EL
Rute 3	Biogass	Biogass
Rute 4	Hydrogen	Hydrogen
Rute 5	Diesel stor	Diesel stor
Rute 6	Biogass	Biogass
Rute 7	Diesel stor	Diesel stor
Kostnad ved allokering	<u>247 522</u>	<u>250 675</u>

Tabell 8B: Sensitivitetsanalyse for endring av dieselprisen. Dieselpris på 10,06 kroner tilsvarer prisen per liter før endringene. Dieselprisen er oppgitt ekskludert CO2-avgift. Prisen på lynlading er satt til 3,99 kroner per kWh. Prisen på vanlig lading (på terminalen til Miniekspress) er satt til 0,33 per kWh. Biogassprisen er satt til 15,6 kroner. Hydrogenprisen er satt til 90 kroner inkludert MVA. Alle priser unntatt hydrogenprisen er oppgitt ekskludert MVA. Rekkvidde på elektrisk lastebil (EL) er satt til 200 kilometer. Miljøkostnaden er på 2021-nivå, der CO2-kostnaden er på medianestimatet. Allokeringen gjelder for en blandet kjøretøypark, som er beskrevet i tabell 4.5. Priser og kostnader er oppgitt i 2021-kroner.

	10,06	7,18 (Reduksjon)	11,02 (Økning)
Rute 1	Diesel liten	Diesel liten	Diesel liten
Rute 2	EL	EL	EL
Rute 3	Biogass	Biogass	Biogass
Rute 4	Hydrogen	Hydrogen	Hydrogen
Rute 5	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor
Rute 6	Biogass	Biogass	Biogass
Rute 7	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor
Kostnad ved allokering	247 522	243 706	248 794

Tabell 9B: Allokeringen ved en endring av lynlading-prisen per kWh. 1,94 tilsvarer en reduksjon på 51 prosent fra 3,99. 6,72 tilsvarer en økning på 68 prosent fra 3,99. Prisen på vanlig lading (på terminalen til Miniekspress) er satt til 0,33 kroner per kWh. Biogassprisen er satt til 15,6 kroner per liter. Dieselpriisen er satt til 10,06 kroner (ekskludert CO2-avgift). Prisen på hydrogen er satt til 90 kroner inkludert MVA per liter. Alle priser unntatt hydrogenprisen er oppgitt ekskludert MVA. Rekkevidde for elektrisk lastebil (EL) er satt til 200 kilometer. Miljøkostnadene er på 2021-nivå, med CO2-kostnader etter medianestimatet. Priser og kostnader er oppgitt i 2021-nivå. Allokeringen gjelder for en Blandet kjøretøypark, som er beskrevet i tabell 4.5.

	1,94 (51% reduksjon)	3,99	6,72 (68% økning)
Rute 1	Diesel liten	Diesel liten	Diesel liten
Rute 2	EL	EL	EL
Rute 3	Biogass	Biogass	Biogass
Rute 4	Hydrogen	Hydrogen	Hydrogen
Rute 5	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor
Rute 6	Biogass	Biogass	Biogass
Rute 7	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor
Kostnad ved allokering	<u>247 522</u>	<u>247 522</u>	<u>247 522</u>

Tabell10B: Allokering ved endring av prisen for vanlig lading (på terminalen til Miniekspress), oppgitt i kroner per kWh. En pris på 0,22 kroner tilsvarer en reduksjon på 32,8 prosent fra 0,33. En pris på 0,54 tilsvarer en økning på 62,7 prosent fra 0,33. Prisen på lynlading er satt til 3,99 kroner per kWh. Biogassprisen er satt til 15,6 kroner per liter. Dieselpriisen er satt til 10,06 kroner per liter (ekskludert CO2-avgift). Prisen på hydrogen er satt til 90 kroner inkludert MVA per liter. Alle priser unntatt hydrogenprisen er oppgitt ekskludert MVA. Rekkevidde på elektrisk lastebil (EL) er satt til 200 kilometer. Miljøkostnadene er på 2021-nivå, med CO2-kostnader etter medianestimatet. Priser og kostnader er oppgitt i 2021-kroner. Allokeringen gjelder for en blandet kjøretøypark, som er beskrevet i tabell 4.5.

	0,22	0,33	0,54
Rute 1	Diesel liten	Diesel liten	Diesel liten
Rute 2	EL	EL	EL
Rute 3	Biogass	Biogass	Biogass
Rute 4	Hydrogen	Hydrogen	Hydrogen
Rute 5	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor
Rute 6	Biogass	Biogass	Biogass
Rute 7	Diesel stor	Diesel stor	Diesel stor
Kostnad ved allokering	<u>247 351</u>	<u>247 522</u>	<u>247 850</u>



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway