



# Bacheloroppgave

**SCM600 Logistikk**

**Ruteplanlegging for elektriske lastebiler**

**Vegard Eide Berentsen**

Totalt antall sider inkludert forside: 61

Molde, 19.05.2022



## Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringen skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.

Du/dere fyller ut erklæringen ved å klikke i ruten til høyre for den enkelte del 1-6:		
1.	Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none"><li>• ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands.</li><li>• ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt.</li><li>• ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt.</li><li>• har alle referansene oppgitt i litteraturlisten.</li><li>• ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.</li></ul>	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å <u>betrakte som fusk</u> og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. <a href="#">Universitets- og høgskoleloven</a> §§4-7 og 4-8 og <a href="#">Forskrift om eksamen</a> §§16 og 36.	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert, jf. <a href="#">høgskolens regler og konsekvenser for fusk og plagiat</a>	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	Jeg/vi er kjent med at høgskolen vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter høgskolens <a href="#">retningslinjer for behandling av saker om fusk</a>	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av <a href="#">kilder og referanser på biblioteket sine nettsider</a>	<input checked="" type="checkbox"/>

# Personvern

## Personopplysningsloven

Forskningsprosjekt som innebærer behandling av personopplysninger iht.

Personopplysningsloven skal meldes til Norsk senter for forskningsdata, NSD, for vurdering.

Har oppgaven vært vurdert av NSD?

ja  nei

- Hvis ja:

Referansenummer:

- Hvis nei:

Jeg/vi erklærer at oppgaven ikke omfattes av Personopplysningsloven:

## Helseforskningsloven

Dersom prosjektet faller inn under Helseforskningsloven, skal det også søkes om forhåndsgodkjenning fra Regionale komiteer for medisinsk og helsefaglig forskningsetikk, REK, i din region.

Har oppgaven vært til behandling hos REK?

ja  nei

- Hvis ja:

Referansenummer:

# Publiseringsavtale

Studiepoeng: 15

Veileder: Arild Hoff

## Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten (Åndsverkloven. §2).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage HiM med forfatter(ne)s godkjenning.

Oppgaver som er unntatt offentlighet eller båndlagt vil ikke bli publisert.

**Jeg/vi gir herved Høgskolen i Molde en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:**

ja     nei

**Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?**

ja     nei

(Båndleggingsavtale må fylles ut)

- Hvis ja:

**Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?**

ja     nei

Dato: 19.05.2022

**Antall ord: 13 403**

## **Forord**

Denne bacheloroppgaven konkluderer mine tre år som logistikk og supply chain management student ved Høgskolen i Molde. Oppgaven har vært en spennende utfordring hvor jeg har fått benyttet meg av ruteplanlegging via Excel. Ett tema jeg fant spesielt interessant i studiet. Jeg vil takke Arild Hoff for meget god veiledning og tilbakemeldinger gjennom hele oppgaven.

Bærekraftig utvikling og transport er viktige tema som jeg personlig syntes er motiverende å se på. Selve oppgaven baserer seg ikke på en spesifikk bedrift, men hvordan ett rutemønster kan se ut for elektrisk lastebiltransport i en nær fremtid. Jeg håper oppgaven faller i smak.

Jeg vil til slutt også takke familie og bekjente som god støtte gjennom oppgaven og studie i sin helhet.

19/05/2022, Molde

Vegard Eide Berentsen

## **Sammendrag**

Bakgrunnen for denne oppgaven er å se på en fremtidsrettet problemstilling som omhandler ruteplanlegging for elektriske lastebiler. Disse eksisterer den i dag i dag for kortdistansetransport, men skal innen få år kunne benyttes til langdistansetransport.

Hensikten med oppgaven er å få ett innblikk i hvordan en rute kan se ut for elektriske lastebiler under ett utsagn om at de skal ha en batterikapasitet på fire og en halv time.

Opgaven starter ved å introdusere bakgrunnen for hvorfor det er behov for elektriske lastebiler før problemstillingen belyses. Deretter beskrives de aktuelle temaene for oppgaven; transport med hovedfokus på transport langs vei og bærekraftig utvikling gjennom et teoretisk kapittel.

Gjennom en kvantitativ forskningsmetode hvor det lokaliseres ladestopp mellom byer i Norge og ved bruk av the travelling salesman problem i fire utvalgte distrikt i Norge kommer oppgaven frem til løsninger som besvarer spørsmålene om antall ladestopp og hviletider for sjåførene gjennom flere forskjellige ruter og alternativer.

Diskusjonen tar opp igjen tråden om hvorfor elektrifisering av transportsektoren er ett dagsaktuelt tema og hvilke politiske insentiver som kan benyttes for å få bedrifter over på mer miljøvennlige transportmetoder før modellens sterke og svake sider diskuteres.

Konklusjonen på oppgaven blir at selv om det totale verdensbildet og transportsektoren er mer komplekst enn oppgaven tar høyde for så gir modellen en indikasjon på hvor langt lastebilene kan kjøre og på hvilke strekninger det kan være potensielle ladestopp.

## **Innhold**

<b>1.0</b>	<b>Introduksjon</b> .....	<b>1</b>
<b>2.0</b>	<b>Problemstilling</b> .....	<b>2</b>
2.1	Forskningsspørsmål, kvalitative analyser og metode.....	2
2.2	Begrensninger.....	3
<b>3.0</b>	<b>1 Teori</b> .....	<b>4</b>
3.1	Behov for transport.....	4
3.1.1	De romlige virkningene av veitransport.....	4
3.1.2	Infrastruktur og investeringer.....	5
3.1.3	Statistikk for godstransport i Norge .....	5
3.1.4	Transport langs vei.....	6
3.1.5	Økonomiske konsekvenser .....	7
3.1.6	Hviletid.....	7
3.2	Bærekraftig utvikling .....	8
3.2.1	Miljøvennlig – del av en bærekraftig utvikling.....	8
3.2.2	CSR – Bedriftens samfunnsansvar.....	8
3.2.3	FN.....	9
3.2.4	EU .....	10
<b>4.0</b>	<b>Metode</b> .....	<b>11</b>
4.1	Kjennetegn på optimaliseringsproblemer.....	11
4.2	The travelling salesperson (TSP) .....	11
4.3	Matematisk modellering.....	12
4.3.1	Uttrykke optimaliseringsproblemer matematisk.....	13
4.3.2	Optimalisering og Excel.....	14
<b>5.0</b>	<b>Matematiske modeller</b> .....	<b>15</b>
5.1	Matematisk oppbygning av oppgaven.....	15
5.1.1	Matematisk modell for minimering av maksdistansen fra et ladestopp og til de tilhørende tettstedene.....	15
5.1.2	Matematisk modell for TSP-problemet.....	17
5.1.3	Hvor kommer tallene fra? .....	19
<b>6.0</b>	<b>Testresultater</b> .....	<b>20</b>
6.1	Trøndelag.....	21
6.1.1	Trøndelag - to ruter .....	22
6.2	Møre og Romsdal .....	22



6.2.1	Møre og Romsdal – to ruter .....	24
6.3	Vestland.....	25
6.3.1	Vestland – to ruter .....	26
6.4	Rogaland.....	27
6.4.1	Rogaland – to ruter.....	28
6.5	Tromsø.....	29
6.6	Reiserutene .....	30
6.7	Alternative løsninger .....	35
6.7.1	Alternativ 1: Ingen ladestopp .....	35
6.7.2	Alternativ 2 Ingen ladestopp og økt batterikapasitet (50%).....	39
<b>7.0</b>	<b>Oppsummering og sammenligning av resultat.....</b>	<b>43</b>
<b>8.0</b>	<b>Diskusjon.....</b>	<b>45</b>
8.1	Behovet for elektriske lastebiler og politisk påvirkning .....	45
8.2	Modellene .....	46
<b>9.0</b>	<b>Konklusjon.....</b>	<b>49</b>
<b>10.0</b>	<b>Referanser.....</b>	<b>50</b>

## Figuroversikt

Figur 1: Andel klimagassutslipp fordelt på transportkilder. 2020 Kilde: Utslipp til luft, Statistisk sentralbyrå. .... 9

## Tabelloversikt

Tabell 1: Godstransport per tonnkm .....	5
Tabell 2: Oslo - Trondheim.....	20
Tabell 3: Reiserute Trøndelag .....	21
Tabell 4: Reiserute Trøndelag - to ruter .....	22
Tabell 5: Oslo - Ålesund .....	23
Tabell 6: TSP Møre og Romsdal.....	23
Tabell 7: Reiserute Møre og Romsdal - to ruter .....	24
Tabell 8: Oslo - Bergen .....	25
Tabell 9: TSP Vestland .....	26
Tabell 10: Reiserute Vestland - to ruter .....	26
Tabell 11: Oslo - Stavanger .....	27
Tabell 12: TSP Rogaland .....	28
Tabell 13: Reiserute Rogaland - to ruter .....	28
Tabell 14: Oslo – Tromsø (1).....	29
Tabell 15: Oslo - Tromsø (2) .....	29
Tabell 16: Tromsø (Fra;Til;Kjøretid).....	30
Tabell 17: Reiserute Trøndelag .....	31
Tabell 18: Reiserute Møre og Romsdal .....	32
Tabell 19: Reiserute Vestland .....	33
Tabell 20: Reiserute Rogaland.....	34

## 1.0 Introduksjon

Fokuset på en bærekraftig verden har aldri vært større enn det er nå. Selskaper nærmest tvinges til å tenke nytt og utvikle ny teknologi hvis de ønsker å være med inn i fremtiden. Ironisk nok, med tanke på at «alle» er mer miljøbevisst så øker etterspørselen etter varer. Dermed er det teknologiske utviklingsløpet i gang. Bensin og dieselpriene er rekordhøye, kunder ønsker varer billigst mulig og så fort som mulig. Det er behov for å finne nye bærekraftige løsninger for transportsektoren, men ikke på bekostning av tid. Norge som har en EØS-avtale med EU påvirkes i stor grad av politikken deres som har en bærekraftig verden i fokus. Elektriske biler har vært en stor suksess i Norge og er en av de bærekraftige transportmidlene som bruker alternative ressurser til oljebaserte drivstoff. Elektriske lastebiler som kjører kortdistanseruter finnes allerede, men de store selskapene som Scania retter nå ett fokus mot langtransporten og skal stå klare med elektriske lastebiler for langdistanse-transport. Disse skal ha en batterikapasitet som skal kunne kjøres frem til yrkessjåførene må ha sin obligatoriske hviletid før de trengs å lade opp. Teknologien er på plass og vi vil snart se ett synlig resultat av dette. Scania sitt «roadmap» for sine elektriske kjøretøy skal allerede i år (2022) ha klar en elektrisk lastebil som skal kunne kjøre 60 km og ha en ladetid på 30 minutter. (Scania, 2021) Året etter planlegges det lastebiler som skal kunne klare å transportere 40 til 60 tonn gods langs veiene i tre til fire timer før de må lades. Til slutt i 2024 kommer de elektriske lastebilene som skal klare å frakte 40 tonn i fire og en halv time eller 60 tonn i fire timer før de må lade. Takket være teknologi som tillater disse å hurtiglade skal de klare å lade seg opp på 45 minutter. Det er ikke bare Scania som sikter mot en elektrifisering store aktører som Daimler (Mercedes) og Paccar som er noen av verdens største produsenter for lastebiler har alle tilsvarende produksjoner.

## 2.0 Problemstilling

Problemstillingen er inspirert av ett utsagn fra Scania sine nettsider som, oversatt til norsk lyder:

«Om noen år planlegger Scania å introdusere elektrifiserte langdistanselastebiler som skal klare å frakte en totalvekt på 40 tonn i fire og en halv time, samt hurtiglades under sjåførens obligatoriske 45 minutters hvilepause».

Sett at en bedrift som er etablert med hovedlager i Oslo og har regionale lagre i noen av Norges største byer som igjen leverer varer til distriktet de befinner seg i ønsker å investere i elektriske lastebiler. Hvordan kan en reiserute i fylkene Møre og Romsdal, Trøndelag, Vestland og Rogaland med begrensningen om å ikke kunne kjøre lengre enn fire og en halv time se ut?

### 2.1 Forskningsspørsmål, kvalitative analyser og metode

I denne oppgaven har jeg tatt utgangspunkt i de oppgitte begrensningene for de elektriske lastebilene og skal prøve å besvare følgende forskningsspørsmål:

1. Hvor bør firmaet lokalisere ladestasjoner for å møte transportbehovet fra Oslo til de utvalgte byene.
2. Hva kan være en optimal rute som inkluderer bestemmelser om hviletid og hvor mange ladestopp behøves det i de utvalgte fylkene hvis firmaet leverer varer eller materialer til de største tettstedene i området?
3. Hva kan være alternative løsninger til de regionale rutene?

For denne oppgaven benyttes det kvantitativ data som er samlet inn. Tiden fra en lokasjon til en annen er hentet via Google maps, restriksjoner om hvor langt vi kan kjøre er basert på utsagnet ifra Scania. Problemet formuleres matematisk i Word før jeg løser det gjennom problemløseren i Excel ved hjelp av kunnskap som er tilegnet gjennom faget LOG530 – distribusjonsplanlegging (Hoff, 2021)

## **2.2 Begrensninger**

Ladekostnader og hvordan lastevekten kan påvirke batterikapasiteten til lastebilene er interessante områder som kunne bistått til en langt mer realistisk Excel modell, men tilgjengelig informasjon på dette området ble for begrenset til at jeg kunne benyttet meg av dette i modellen. Det er også andre faktorer som ikke er tatt hensyn til som at veinettet i Norge består av mye svingete veier og store svingninger i høydemeter ved fjelloverganger og temperaturer. Dette er faktorer som ikke nødvendigvis forekommer i områder som testkjører lastebilene i like stor grad. Det kan derfor hende at batterikapasiteten kan bli redusert noe.

## **3.0 1 Teori**

I dette kapitlet skal jeg ta for meg de sentrale teoriene for oppgaven. Den er delt inn i to deler hvor del en tar for seg transport og del to tar for seg bærekraftig utvikling og behovet for alternative drivstoffløsninger for tungtransporten.

### **3.1 Behov for transport**

Transport eksisterer ikke som et behov i seg selv, men er det vi kaller for avledet etterspørsel. Det eksisterer fordi vi har behov for å gjennomføre en annen oppgave av økonomisk verdi som i denne oppgaven handler om å transportere last fra en lokasjon til en annen. Markedsøkonomi, slik den er bygd opp i dagens samfunn kan ikke fungere uten evnen til å transportere varer og tjenester for å knytte tilbud og etterspørsel. (Rodrigue, 2020, s. 2) For eksempel må varene vi kjøper i butikken transporteres dit før vi kan kjøpe de. I disse dager med mye hjemmekontor har mange måtte gått til anskaffelse av bærbare PC-er og utstyr eller benyttet seg av hjemmeleveringer. Dette hadde ikke vært mulig uten at noen transporterte varer til butikk så du kunne kjøpt de eller fraktet varer helt hjem til deg.

Det er lettere å oppnå en mer balansert etterspørsel i passasjertransport enn for frakt. Når vi frakter varer i et gitt marked er det sjeldent at vi oppnår likevekt i fraktvolum begge veier, noe som fører til et overskudd av kjøretøy i en retning, mens for passasjertransport omfatter det nesten alltid en balansert tur/retur reiserute. (Prentice & Prokop, 2016, s. 23). Dette fører til flere tomme returer som er en ulempe med transport da det øker utslippet fra bilene uten å tjene et annet formål enn å returnere og være klar til neste utkjøring.

#### **3.1.1 De romlige virkningene av veitransport**

Et funksjonelt hierarki langs veien kan beskrives som en rangbestemmelse basert på hvilke veier som brukes mest. (Rodrigue, 2020, s. 159) En rangering kan for eksempel være 1. Europavei eller Riksvei 2. Fylkesvei, 3. Kommunale veier. Langs riks- og europaveien finner vi blant annet motorveier, de er mest populære på grunn av godt vedlikehold, flerfelt og høy gjennomsnittsfart hvor andre veier som kan lede til samme områder gjerne er lengre, av dårligere kvalitet og har lavere gjennomsnittsfart. Motorveier er vanligvis den prefererte veien for kortdistansereiser når den er tilgjengelig, men ligger også strategisk til for inn- og utfartsreiser fra byene og benyttes naturligvis av langdistanse-transport.

Uten disse veiene rundt byene ville vi opplevd at langdistanse-transport kombinert med passasjertransport ville skapt en stor belastning for veinettet med lange køer. Dette ville også ha skapt mer belastning på batterikapasiteten for elektriske lastebiler.

Sammenlignet med andre fraktmoduser så har lastebiler dårligere stordriftsfordeler i den forstand at det ligger begrensninger i både størrelse og nyttelast, men veitransport har noen andre overlegne fordeler i forhold til de andre modusvalgene, som for eksempel er kostnader ved å kjøpe et nytt kjøretøy relativt lave. Dette modusvalget konkurrerer også i høy fleksibilitet og hastighet. (Rodrigue, 2020, s. 160)

### 3.1.2 Infrastruktur og investeringer

Størsteparten av veinettet i Norge er driftet og vedlikeholdt av Statens vegvesen. Det gjør det til et attraktivt valg å bruke til både private og offentlige formål, da det er "gratis" i den forstand at du ikke betaler en synlig avgift for veien, men i stedet må betale i form av skatter (miljøavgifter for eksempel), ferje og bompenger. (Rodrigue, 2020, s. 161)

### 3.1.3 Statistikk for godstransport i Norge

Statistisk sentralbyrå er hovedmyndighet når det kommer til statistikk i Norge og skal samordne all utvikling, utarbeiding og formidling av offisiell statistikk i Norge. (Lovdata, 2019) I tabell 1 for godstransport per tonnkm kommer det frem at det er veitransport som er den dominerende transportmetoden på 19 881 tonnkm, altså ca. 37% av all godstransport i Norge. Tonnkm er en betegnelse som beskriver arbeidet ved å forflytte ett tonn gods en km. For eksempel om man frakter 5 tonn 50 km har man utført transportarbeid lik  $5 \cdot 50 = 250$  tonnkm. (Statistisk sentralbyrå, 2022)

Tabell 1: Godstransport per tonnkm

I alt	52 585	55 470	5,5	11,1
Fastlandstransport i alt	24 685	24 460	-0,9	1,8
Jernbanetransport	2 106	2 181	3,6	11,6
Lufttransport	10	10	0,0	-33,3
Veitransport	19 881	19 719	-0,8	2,4
Sjøtransport	2 687	2 550	-5,1	-9,2
Bilferjeruter	201	162	-19,4	-6,9
Leietransport og egentransport	2 486	2 389	-3,9	-9,4
Transport norsk kontinentalsokkel - fastland i alt	27 900	31 010	11,1	19,8

### 3.1.4 Transport langs vei

Transport langs vei er populært fordi det er rimelig å investere i, sett i sammenligning med de andre populære transportmodusene som tog og skip for eksempel. I tillegg utkonkurrerer veinettet godstransport langs skinner på mange fraktoppdrag og strekninger ved å være mye mer fleksibel og dermed mindre utsatt for store forsinkelser om det skulle oppstå. En siste fordel med veitransport er hastigheten. Transport langs veinettet klarer å holde en relativ høy gjennomsnittsfart. På grunn av disse fordelene står veitransporten for størsteparten av kort-distanse transport, det vil si fra varene kommer inn til Norge og ut til kundene, men det er også denne transportmetoden som står for høyest andel CO<sub>2</sub>-utslipp av alle typer kjøremoduser. (Rodrigue, 2020, s. 161)

Dette problemet bygger på seg i dag med de store tilflytningene til byer og økende etterspørsel for varer. I 2020 bodde over halvparten av verdensbefolkningen i byer og det er grunn til å tro at nesten syv av ti personer vil bo i bystrøk innen 2050. (The World Bank, 2022). Bedrifter som transporterer varer via lastebiler i byer, har dermed ett økende ansvar for å sørge for at bilene deres slipper ut mindre CO<sub>2</sub>. En elektrifisering av lastebiler er en av de teknologiske fremskrittene som vil sørge for null-utslipp fra lastebiler langs veien. Området for transport kan deles opp i tre deler: lokal, regional, og globale transportsektorer. (Rodrigue, 2020, ss. 7-8)

Den lokale sektoren består av de daglige aktivitetene som skjer på et gitt sted på et gitt tidspunkt som daglig eller ukentlig. Dette kan være kjøring til og fra jobb eller godstransport fra et lager til din lokale butikk eller distribusjon av post.

Det regionale nivået er en mer utvidet versjon av det lokale, ofte forbundet med havner og andre langdistanseterminaler som brukes til å samhandle med de nærliggende byene og mer avsidesliggende områder som vanligvis ikke er tilgjengelige for daglige turer. Norge er et eksempel på et regionalt område.

Til slutt er det globale nivået som tar med internasjonal handel i bildet og reiseruter fra produksjonsland til sluttkunden.

Denne oppgaven omhandler for det meste regionale områder, hvor vi har tatt utgangspunkt i en bedrift som har en reiserute fra Alnabru i Oslo til store norske byer som Bergen og Trondheim.



### 3.1.5 Økonomiske konsekvenser

Som nevnt innledningsvis er transport en form for avledet etterspørsel, men kan stå for mange økonomiske konsekvenser. (Rodrigue, 2020, s. 93) Økonomiske konsekvenser kan deles inn i tre grupper:

- Direkte virkninger: I all hovedsak kan vi påvirke transportsektoren gjennom å øke kapasitet, forbedre ledetiden og profitt. For transport av varer er tid og kostnader viktige begreper. Vi ser en økning i diesel og bensinpriser samt utslipp-avgifter, noe som øker behovet for forbedring. På sikt vil det både lønne seg og stilles krav til bedrifter om alternative miljøvennlige transportmetoder slik som elektriske lastebiler.
- Indirekte virkninger: Konsekvenser som vi blir påvirket av. Oppgradering av veinettet eller nye veier som kan påvirke reisetiden er eksempler på dette en annen er den negative CO<sub>2</sub> utviklingen og svevestøv fra trafikken. Det er altså ting en tredjepart gjør som enten påvirker oss positivt eller negativt.
- Induserte konsekvenser: Knytter vi opp mot den indirekte påvirkningen av å forbedre veinettet eller lage nye ruter. En indusert konsekvens er når det skapes økonomisk vekst av å for eksempel lage en ny reiserute som gjør det enklere for transportfirmaer å levere varer.

### 3.1.6 Hviletid

Yrkessjåfører pålegges jevnlig pauser i arbeidsperioden sin. Dette er regulert gjennom et felles europeisk regelverk for døgnhvile og ukehvil (Statens Vegvesen, 2021). Her finner vi igjen utsagnet fra Scania om at sjåførene må ha en pause på 45 minutter etter fire og en halv time kjøring. I oppgaven blir det også lagt inn et spørsmål om reiseruten krever døgnhvile. Regelen for dette er at det skal være en sammenhengende pause på elleve timer, men den kan deles opp til tre pluss ni timer. For ukentlig kjøreperiode kan en sjåfør kjøre maks 56 timer i uken eller maks 90 timer hvis sjåføren kjører to uker på rad. Sjåførene pålegges en ukehvil på minst 45 timer etter senest seks døgn. Ukehvilen kan reduseres til 24 timer annenhver uke.

## **3.2 Bærekraftig utvikling**

Et viktig dagsaktuelt tema for denne oppgaven er bærekraftig utvikling. Dette uttrykke så lyset for første gang i Brundtland-rapporten fra 1987 og blir beskrevet slik: ««En utvikling som imøtekommer dagens behov uten å ødelegge mulighetene for at kommende generasjoner skal få dekket sine behov.» (Brundtland, 1987)

### **3.2.1 Miljøvennlig – del av en bærekraftig utvikling**

Å være miljøvennlig og bærekraftig utvikling er to ord som brukes litt om en annen. Nå som elektriske lastebiler er på vei inn i markedet, sier vi gjerne at det er et miljøvennlig tiltak. Miljø er en av de tre beslutnings-søylene en bedrift kan bruke etter en ide av John Elkingtons «triple bottom line». (McKinnon, 2015, s. 110). De to andre er økonomi og mennesker. Tanken bak disse tre søylene er å inkludere både mennesker og miljøet i forretningens finansielle beslutninger ved for eksempel å sørge for en økonomisk vekst i bedriften, samtidig som bedrifter tar hensyn til samfunnsnyttig utvikling og redusere utslippet fra bedriften. En bedrift kan nettopp derfor investere i elektriske lastebiler som sørger for null utslipp og som gjør bedriften konkurransedyktig i en bærekraftig fremtid og del av sitt utvidet samfunnsansvar.

### **3.2.2 CSR – Bedriftens samfunnsansvar**

Triple bottom line former det som har fått navnet CSR (Corporate social responsibility), og som navnet tilsier handler dette om bedriftens samfunnsansvar. I EU sitt dokument “Green Paper: Promoting a European Framework for Corporate Social Responsibility” beskrives det som “Corporate social responsibility is essentially a concept whereby companies decide voluntarily to contribute to a better society and a cleaner environment.” (European Commission, 2001). CSR kan deles inn i tre grupper alt etter hvor bedriftens hovedfokus ligger;

Verdidrevet CSR: Oppstår når det er del av bedriftskulturen eller som en forlengelse av bedriftens kjerneverdier.

Ytelsesdrevet CSR oppstår når man skal bruke CSR for å forbedre de økonomiske resultatene og posisjonen i markedet. Dette er det som oppstår i dag. Flere av aktørene i transportbransjen slik som Scania og Tesla holder på å utvikle elektriske lastebiler for å bedre sine posisjoner i dagens marked. Dette blir et viktig steg for å holde posisjonen sin i fremtiden.

Interesse-drevet CSR kommer som et forsvar ovenfor en interessegruppe som kunder eller investorer som ønsker at det skal være mer fokus på CSR i bedriften. (McKinnon, 2015, ss. 112-113)

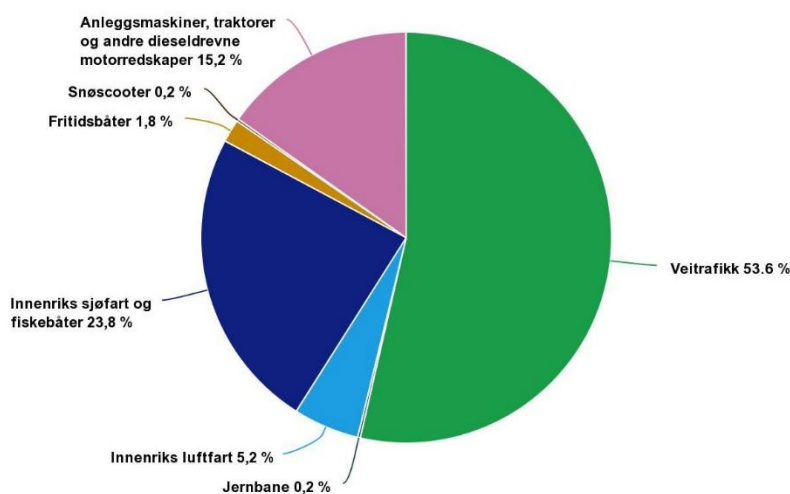
Selv om CSR er frivillig for bedrifter så er det blitt en mer og mer vanlig praksis å ta del i dette i en eller annen form. Mange aktører ser nå på dette som del av identiteten til bedriften og i enkelte tilfeller er det helt nødvendig hvis man skal klare å være en konkurransedyktig aktør.

### 3.2.3 FN

Bærekraftig utvikling, økt fokus på miljøet og bedriftenes samfunnsansvar blir tilført mye verdi gjennom FNs klimamøter, sist holdt i Glasgow den 31 oktober t.o.m 13 november 2021. Under dette møte kom det frem at tiltak som var satt i gang tidligere ikke har vært gode nok når det gjelder å klare å bremse den globale oppvarmingen med mer enn en og en halv grad, slik den tidlige parisavtalen hadde som forhåpning, med en maks økning på to grader.

Det ble også påpekt under for første gang at det må kuttes ned på subsidier av fossil-industrien siden denne sektoren er en av de største pådriverne innenfor klimaendringene vi står ovenfor. (Stensaas & Stakkestad, 2021)

I en artikkel fra Statistisk sentralbyrå kommer det frem at transportsektoren i 2020 slapp ut 15,6 millioner tonn CO<sub>2</sub>-eekvivalenter, noe som tilsvarte 32 prosent av utslippet i Norge det året. 53,6 prosent av disse utslippene kom fra veitrafikken. (Engedal & Bothner, 2021)



Figur 1: Andel klimagassutslipp fordelt på transportkilder. 2020 Kilde: Utslipp til luft, Statistisk sentralbyrå.

Videre mål av elektrifisering av transportsektoren kommer frem i miljødirektoratet sin rapport om «Tiltak og virkemidler mot 2030». hvor de følger EU sine klimamål om å redusere utslippene med 55 prosent, sammenlignet med utslippstall fra 2005. For å nå dette målet skal blant annet 50 prosent av nye lastebiler være elektrifisert, eventuelt ha en hydrogenmotor. (Miljødirektoratet, 2020) Dette betyr at behovet for videre elektrifisering av transportsektoren er ett veldig høyaktuelt tema nå.

### **3.2.4 EU**

Norge er ikke medlem av EU, men har istedenfor en EØS-avtale og samarbeider tett opp mot klima og miljø. Dette betyr at Norge påvirkes av EU-politikken og i 2019 ble Norge, Island og EU enige om en avtale om felles oppfyllelse av utslippsmålene for 2030. I dette ligger det at Norge har fått en 2030-forpliktelse om kutt i utslipp som ikke er dekket av kvotehandelssystemet. (Klima- og miljødepartementet, 2021).

Innen 2050 skal landene under EU være del av en klimanøytral sone med null utslipp. Norge har i rettsakten lagt frem ett forslag til en europeisk klimalov der de foreslår å lovfeste EUs klimamål for 2030 og 2050. (Klima- og miljødepartementet, 2020)

Slik dagens modell for energiforbruk er bygd opp som inkluderer blant annet transport, bygninger o.l. er den et offer for siloeffekten.

Det vil si at hver og en av de forskjellige sektorene vi forbruker energi i opereres på sin egen måte under et eget sett med regler og verdikjede. Med en slik modell vil vi ikke klare å nå klimamålet for 2050. «The EU strategy for Energy System Integration» er en rapport som skal bistå som et rammeverk under utviklingen av et integrert energisystem i EU. (European Commission , 2020) Den tar for seg tre fordelaktige konsepter til hvordan vi kan oppnå en kostnadseffektiv avkarbonisering gjennom et mer sirkulær energi system. Det vil være til stor hjelp i områder som er i utgangspunktet vanskelig å avkarbonisere. Som nevnt tidligere står veitransportsektoren for store deler av CO<sub>2</sub>-utslippet og vil dra nytte av å bli integrert i et energisystem, slik at den kan bruke mer fornybar energi. I tillegg vil det kunne redusere mengden energi som trenges gjennom å standardisere systemet. Et av konseptene er elektrifisering av sluttbrukersektoren som igjen påvirker transportsektoren og lager vei for el-bil og -lastebil markedet. Rapporten beskriver også hvordan en kan forbruke fornybare og lavkarbondrivstoff som for eksempel hydrogen for sluttbruker der direkte oppvarming eller elektrifisering ikke er mulig. (European Commission, 2020)

## 4.0 Metode

Problemstillingen er å planlegge reiseruter til og i de oppgitte stedene i Norge. Denne oppgaven benytter seg av to ulike optimeringsproblemer. Det første er et lokasjonsproblem som skal finne optimale ladestopp langs en strekning fra Oslo til storbyene og den andre er en velkjent problemstilling som heter the travelling salesperson (TSP).

### 4.1 Kjennetegn på optimaliseringsproblemer

Et optimaliseringsproblem starter med at det enten skal maksimeres eller minimeres et problem som skal løses under visse restriksjoner. I dette tilfellet er det først hvor firmaet bør lokalisere ladestoppene sine langs rutene fra Oslo til

Trondheim/Ålesund/Bergen/Stavanger/Tromsø, deretter å finne en optimal rute i de utvalgte fylkene. Objektfunksjonen for det første problemet er å minimere maksavstanden mellom ladestoppene og de nodene den kan betjene på den gitte strekningen og deretter finne en MiniMax verdi for strekningene. For TSP er objektfunksjonen å minimere reiseavstanden på en rundtur som besøker de oppgitte nodene før det returneres til startnoden.

For å løse optimeringsproblemet trengs det ett sett med beslutningsvariabler som modellen kan forandre på i motsetning til begrensninger som er faste verdier som ikke må gås under, overstiges eller verdier som skal være lik en annen verdi. Det vil også være restriksjoner som begrenser hvilke verdier beslutningsvariablene kan ta.

### 4.2 The travelling salesperson (TSP)

TSP er et klassisk problem i matematikk og optimalisering. Det handler om å finne den korteste veien mellom ett sett med noder som skal besøkes en gang hver før man returnerer til noden man startet i. Den kan også benyttes i andre sammenhenger, for eksempel ble TSP brukt til å optimalisere varmvalsende produksjonsplanlegging for jern- og stålselskaper i Kina. (Lixin Tang, 2000)

I denne oppgaven er det ønskelig å benytte seg av denne metoden for å blant annet se på et alternativ om hvor lange rundturer i distriktet man kan gjennomføre uten å lade flere ganger enn nødvendig langs strekningen.

### 4.3 Matematisk modellering

Matematisk modellering har for lengst blitt tatt i bruk og er et godt verktøy bedrifter kan anvende til for eksempel strategiske beslutninger som er de langsiktige mål og økonomiske bestemmelser for bedriften. (Winston, 2018, s. 1)

Oppgaven består av to optimeringsproblemer. I første problemet skal den maksimale distansen mellom ladestoppene og nodene de kan betjene minimeres under noen gitte restriksjoner, mens i det andre problemet skal jeg finne en reiserute i distriktene rundt byene som minimerer reisetiden og unngår å besøke samme lokasjon to ganger, slik at vi kan finne ut hvor lastebilene må stoppe for å lade på strekningen.

Slike problemer kan formuleres matematisk og løses ved hjelp av en rekke forskjellige programmer som Lingo eller Xpress. I denne oppgaven benyttes det et tilleggsprogram i Microsoft Office Excel som heter Problemløser, men før det bør problemet formuleres via en matematisk modell. En matematisk modell er en kvantitativ fremstilling av en gitt problemstilling slik som hvor kan det lønne seg å lokalisere ladestasjoner for elektriske lastebiler og hva en optimal reiserute kan være. Å oversette et problem fra virkeligheten til en matematisk modell kan være utfordrende og det er nesten umulig å lage en perfekt modell fordi det ikke er alle aspekter som lar seg formulere. En god modell skal være generell slik at det enkelt kan endres på parameterverdiene. Da kan modellen løses på nytt for nye probleminstanser. Derfor er det en viktig investering å bruke god tid og ressurser på å utforme en matematisk modell.

Prosessen ved å lage en matematisk modell ifølge Winston kan defineres gjennom syv steg (Winston, 2018, ss. 7-12)

1. Det første steget i matematisk modellering er å definere problemet. Ved å definere problemet kan man stille seg spørsmål som hvem denne problemstillingen angår og om man trenger å involvere noen i prosessen, i så fall når. Typisk problemstillinger hos en bedrift omhandler hvordan kan man maksimere profitten eller minimere kostnadene, da vil det være naturlig å formulere problemet i lag med bedriften. For problemer som ikke omhandler en spesifikk bedrift bør man samle inn informasjon ved for eksempel å lese rapporter om et gitt problem eventuelt snakke med folk som kjenner til problemet.
2. Etter å ha definert problemet så må nødvendig data samles inn og oversettes til et fornuftig format til modellen. All data som samles inn, bør være så nøyaktig som mulig. Dataen som brukes i denne oppgaven er samlet inn blant annet via Google Maps som får

informasjonen sin via en stor database, Google Bigtable. Andre måter å samle inn data på er gjennom observasjoner og intervjuer.

3. Når all nødvendig data er samlet inn og omgjort til de bestemte verdiene man skal bruke så kan en modell utvikles. For at modellen skal holde mål og ikke gi et ugyldig resultat må man passe på at rett problemstilling har blitt valgt i steg 1 med tilhørende variabler og begrensninger. Modellen skal være robust og relatert til problemet, men det er viktig at den ikke blir for innviklet eller beskrevet ned til siste detalj. Det kan medføre at den blir vanskelig å tolke til slutt.

4. Etter at modellen er utviklet må den verifiseres. Hvis modellen er utviklet for en bestemt bedrift bør det brukes data som er blitt hentet fra den aktuelle bedriften. En demonstrasjon med verdier bedriften kan tolke gjør det enklere for de å godkjenne modellen. En annen måte å verifisere den på er å legge inn egne verdier for å sjekke om resultatet virker fornuftig.

5. Etter at modellen er verifisert og relevante parameterverdier samlet inn, kan den kjøres for å finne den optimale løsningen. Siden dette svaret er basert på verdier som kan være unøyaktige skal man alltid være kritisk til svarer man får, men hvis den er en velformulert og robust modell kan det gi en veldig god indikasjon på løsningen man er på jakt etter.

6. Når modellen har vært testet og vi har kommet frem til ett resultat kan den analyseres og presenteres for eventuelle bedrifter. Den bør også lages med tanke på brukervennlighet om hvem som skal se og bruke modellen.

7. Når modellen iverksettes er man i mål. De som skal anvende modellen bør få opplæring i hvordan den fungerer.

Modellen bør også ha en kontinuerlig evaluering siden dagens problem vil forandre seg over tid.

### **4.3.1 Uttrykke optimaliseringsproblemer matematisk**

Vi har vært gjennom hvordan en modell bygges opp etter Winston sin syv-steps fremgangsmåte. De matematiske prosessene som gjør den gyldig, skal jeg gå gjennom her. Først formuleres problemstillingen og ut ifra denne defineres objektet for oppbygningen. I optimaliseringsproblem er man som regel borti et maksimerings- eller minimeringsproblem.

Det generelle formatet for denne er gitt ved MAKS / MIN:  $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$  (Ragsdale, 2008, ss. 19-20)

Vi behøver ett sett med variabler som objektet kan jobbe med. De blir som regel representert ved  $X_1, X_2, \dots, X_n$  hvor hver  $X$  er en ukjent variabel som kan ta ulike verdier. Variablene kan også ha begrensninger som for eksempel at de kun skal være heltall eller binære tall 0/1 hvis det er naturlig.

Begrensningene i modellen sørger for at vi ikke overskrider regler vi har bestemt på forhånd. Det er tre måter å uttrykke begrensninger på:

En betingelse som er mindre enn eller lik:  $f_1(X_1, X_2, \dots, X_n) \leq n$

En større enn eller lik betingelser:  $f_2(X_1, X_2, \dots, X_n) \geq n$

En betingelse lik:  $f_3(X_1, X_2, \dots, X_n) = n$

Det er derfor veldig viktig å ha korrekt informasjon slik at man vet hva som må forholdes til.

### 4.3.2 Optimalisering og Excel

Oppgaven har benyttet seg av Microsoft Windows programmet Excel som er ett av mange programmer i markedet hvor man kan formulere det matematiske problemet med nødvendige parametere og utregninger som skal brukes i modellen. Når modellen er lagt inn på Excel så bruker vi ett tilleggsprogram; *Problemløseren*, for å definere modellen. Det vil si å legge inn i programmet hva objekt funksjonen er og likeså hvilke variabler og begrensninger vi har for modellen. Når modellen er implementert riktig så kan den løses og man finner den kombinasjonen av variablene som gir den optimale løsningen på objektfunksjonen. En svakhet for tilleggsprogrammet «problemløser» i Excel er at den kan bare jobbe med et begrenset antall variabler slik at modeller ofte må nedskaleres. Har man bruk for å jobbe med større problemer trengs det en utvidet versjon som krever en ekstra lisens. Som for eksempel en betalt utgave av programmer Frontline Solver.



## 5.0 Matematiske modeller

I dette kapitlet skal jeg gå gjennom den matematiske oppbyggingen av oppgaven før resultatene blir presentert.

### 5.1 Matematisk oppbygning av oppgaven

I denne oppgaven ser vi på en fremtidig ruteplanlegging for elektriske lastebiler og hvor de skal stoppe for å lade langs veien under de gitte begrensningene vi setter for dem.

Oppgaven er delt inn i to problemer, og det første problemet går ut på å minimere totaldistansen mellom ladestoppene og nodene de inkluderer langs veien på fem forskjellige distanser. For å gjøre dette brukes vi følgende data og formler.

#### 5.1.1 Matematisk modell for minimering av maksdistansen fra et ladestopp og til de tilhørende tettstedene

*Data:*

$n$  – Antall mulige noder

$N$  – Mengden av noder

$$N = \{1, 2, \dots, n\}$$

$k_{ij}$  – Kjøretiden mellom nodene  $i$  og  $j$  i minutter

$$i \in N ; j \in \{N\}$$

$l$  – Maks antall ladestopp

Lokasjonene ( $n$ ) er et utvalg lokasjoner med potensielle ladestopp langs veien. I modellen forutsetter jeg at startnoden Oslo og sluttnoden har begge lademuligheter slik at batteriet er på 100% ved avgang.

Dataen  $k_{ij}$  er den som beskriver avstanden mellom to tettsteder.

*Beslutningsvariabler:*

$U_i$  – Om et av de potensielle ladestopp på lokasjon  $i$  benyttes  $U_i \in \{0,1\} ; i \in \{N\}$

$X_{ij}$  – Bestemmer om ladestopp  $i$  er tilknyttet node  $j$   $X_{ij} \in \{0,1\} ; i \in \{N\} ; j \in \{N\}$

$M$  – Den maksimale distansen et ladestopp har til de tilhørende nodene

Disse variablene er det som bestemmer utfallet for objektfunksjonen i modellen ved hjelp av begrensningene vi setter.

*Objektfunksjonen*

$$\min M$$

Minimere maks distansen for alle nodene sin distanse fra en ladestasjon til de tilhørende nodene.

*Begrensninger*

$$\sum_{i \in N} X_{ij} \geq 1 \text{ for alle } j \in N$$

Alle tettstedene skal betjenes av minst ett ladestopp.

$$\sum_{j \in N} X_{ij} \leq n \cdot U_i \text{ for alle } i \in N$$

Tettsted som har etablert et ladestopp kan betjene n eller mindre tettsteder hvor n er antall tettsteder i modellen. Hvis en node har etablert et ladestopp er U-variablene lik 1\*n.

$$\sum_{j \in N} k_{ij} X_{ij} \leq M \text{ for alle lokasjonene } j \in N$$

Summen av alle tettstedene som er inkludert i et etablert ladestopp kan ikke være større enn den maksimale distansen et ladestopp har til de tilhørende tettstedene.

$$\sum_{j \in N} L_i \leq l$$

Antall ladestopp må være mindre eller lik maks antall ladestopp

I tillegg kommer det begrensninger om at variablene må være ikke-negative og ha binære verdier (dvs. returnere verdien 0 eller 1).

Ved å implementere disse formlene i Excel får vi en løsning og derfra kan en så forsøke å minimere maksavstanden (MiniMax) fra Oslo til byene ytterligere ved å forandre objektfunksjonen til

$$\min \sum_{i,j \in G} k_{ij} X_{ij}$$

Minimere summen av den totale avstanden.

$$\sum_{j \in N} k_{ij} X_{ij} \leq M^* \text{ for alle lokasjonene } j \in N$$

Summen av alle tettstedene som er inkludert i et etablert ladestopp kan ikke være større enn maks kjørelengde.

### 5.1.2 Matematisk modell for TSP-problemet

Del to av oppgaven handler om å planlegge en reiserute mellom tettsteder lokalisert rundt de forskjellige byene vi skal nå i del 1. Ved å løse et problem om en reiserute som skal innom alle de ulike tettstedene kan det lages en tabell for når lastebilene må lades opp før de fortsetter. For å gjøre dette benytter jeg TSP

*Data*

$n$  – Antall noder

$N$  – Mengden av noder

$$N = \{1, 2, \dots, n\}$$

$G$  – Sett med veistrekninger i nettverket

$c_{ij}$  – Tid fra node  $i$  til node  $j$

$$(i, j) \in G$$

Nodene « $n$ » er de forskjellige tettstedene som vi skal besøke langs ruten, mens  $G$  er det samlede antallet ruter fra og til alle lokasjonene. Siden tid mellom tettstedene er en viktig faktor i denne delen av oppgaven så må vi definere tiden fra en node til nærliggende noder.

*Beslutningsvariabler:*

$X_{ij}$  – Rundturen benytter den direkte linken mellom node  $i$

og node  $j$

$$X_{ij} \in \{0, 1\}; (i, j) \in G$$

$U_j$  – Støttevariabler for å eliminere undersykluser  $j$

$$j \in \{2, \dots, n\}$$

Den første beslutningsvariabelen bestemmer hvilken reiserute vi velger å ta ut fra en gitt node til neste. Hvis vi velger å reise til en node blir denne lik 1 og hvis ikke er den lik 0.

Den andre variabelen skal støtte opp under for at eventuelle isolerte sykluser blir eliminert.

Objektiv funksjon:

$$\min \sum_{(i,j) \in G} c_{ij} X_{ij}$$

Siden jeg ønsker å finne den reiseruten som tar kortest tid, men som besøker alle nodene må den totale avstanden for alle koblingene som brukes minimeres.

Avhengig av hvilken rute som blir valgt blir tiden enten ganget med 1 hvis vi velger å bruke koblingen mellom nodene eller 0 hvis ikke.

Begrensninger:

$$\sum_{i:(i,j) \in G} x_{i,j} \geq 1 \text{ for all } j \in N$$

Vi må besøke hver node minst en gang

$$\sum_{i:(i,k) \in G} x_{i,k} = \sum_{j:(k,j) \in G} x_{k,j} \text{ for alle } k \in N$$

Antall ganger vi forlater en node må være like antall ganger vi ankommer en node

$$U_i - U_j + (n - 1) X_{ij} \leq (n - 2) \text{ for } i, j = 2, \dots, n \text{ og } i \neq j$$

Skulle det oppstå en isolert syklus vil denne begrensningen eliminere de slik at vi får en komplett TSP graf. Modellen kan støte på isolerte sykluser som må elimineres for å få en sammenhengende reiserute. TSP er en nyttig modell når det for eksempel er ønskelig å finne den mest effektive reiseruten uten at det skal gå på bekostning av at noen av nodene blir utelatt.

Til slutt må vi stille krav til at beslutningsvariablene sine verdier er binære. Det vil si at de består av verdiene 0 eller 1. Vi må også huke av for å gjøre ubegrensede variabler ikke-negative.

### 5.1.3 Hvor kommer tallene fra?

Problem 1:

Distansene i oppgaven er oppgitt i minutter for å finne en felles verdi for kjøretid i timer og antall km. Ved å legge inn destinasjonen på Google Maps får man samtidig opp en antatt kjøretid mellom stedene. Google er en av de mest populære digitale karttjenestene som brukes i verden. De har kraftige og pålitelige systemer som beregner avstander ved hjelp av distanse og fartsgrenser.

Problem to:

For å anslå tid brukt fra en node til en annen har Google Maps blitt benyttet, her varsles det også om det er behov for ferje på strekningen. De nodene som er koblet sammen via ferje har først blitt oppdaget i Google Maps. Rutetabeller for de aktuelle strekningene har opplyst om overfartstid.

Det hadde vært interessant å ha med kostnader knyttet opp mot å lade lastebilene for å lage en modell som minimerte kostnadene. Man kunne da sett på kostnader for en rundtur ved å lade på private ladestasjoner på bedriftens eiendom og da hvor mange ganger lastebilene måtte returnere før de klarte å kjøre gjennom hele ruten mot offentlige ladepunkt hvor ruten kjøres i sin helhet uten å returnere til startnoden hver gang det må lades, men det har vært vanskelig å finne konkrete tall for hva det vil koste siden de krever bedre ladeegenskaper enn en vanlig el-bil. Det er heller ingen aktører som opplyser dette enda da det er fortsatt noen år frem i tiden før det er aktuelt å investere i langdistanselastebiler.

## 6.0 Testresultater

Modellen er bygd opp i Excel og er delt inn i to deler. Først finner jeg et alternativ til ladestopp mellom strekningene Oslo – Trondheim, Oslo – Ålesund, Oslo – Bergen og Oslo – Stavanger. Etter dette vises et eksempel fra Oslo – Tromsø som krever flere stopp langs veien. Dette viser bedre nytten av en slik modell.

For å analysere den første delen av oppgaven så benyttes strekningen Oslo – Trondheim:

Tabell 2: Oslo - Trondheim

Kjøretid i minutter		Oslo	Jessheim	Minnesund	Elverum	Koppang	Alvdal	Rennebu	Soknedal	Lundamo	Trondheim			
	Oslo	0	29	47	93	158	219	290	321	341	389			
	Jessheim	29	0	21	67	132	193	264	295	316	364			
	Minnesund	47	21	0	50	115	175	247	278	299	347			
	Elverum	93	67	50	0	75	136	206	237	258	306			
	Koppang	158	132	115	75	0	62	134	164	185	230			
	Alvdal	219	193	175	136	62	0	71	102	123	169			
	Rennebu	290	264	247	206	134	71	0	31	52	106			
	Soknedal	321	295	278	237	164	102	31	0	23	66			
	Lundamo	341	316	299	258	185	123	52	23	0	45			
	Trondheim	389	364	347	306	230	169	106	66	45	0			
Potensielle stoppested		Oslo	Jessheim	Minnesund	Elverum	Koppang	Alvdal	Rennebu	Soknedal	Lundamo	Trondheim	Antall	Kapasitet	Ladestopp
	Oslo													
	Jessheim													
	Minnesund													
	Elverum													
	Koppang													
	Alvdal	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	10	1
	Rennebu													
	Soknedal													
	Lundamo													
	Trondheim													
	Inkludert i ladestopp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		Sum ladestopp	1
	>=	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		<=	1
	Avstand	219	193	175	136	62	0	71	102	123	169	<=	219	Maks kjørelengde
													1250	MiniMax

For å få modellen til å fungere er det nødvendig med en avstandsmatrise. Denne er satt som kjøretid i minutter fra startpunktet (Oslo) til slutt punktet (Trondheim, Ålesund, Bergen eller Stavanger) med potensielle stoppested langs ruten. Matrisen «Potensielle stoppested» er en av beslutningsvariablene for modellen.

Når problemløseren finner en løsning ganges avstanden i kolonnen «kjøretid i minutter» med en tilsvarende cellen i «potensielle stoppested» og summeres i kolonnen «avstand». Under disse matrisene er begrensningen om at alle nodene skal motta minst ett sted som kan benyttes til å lade på.

Maks kjørelengde: Den lengste distansen fra ladestoppet, i dette tilfellet er det Oslo som ligger 219 minutter unna mens det gjenstår 169 minutter til Trondheim.

Antall: Summerer antall potensielle ladestopp for node n.

Kapasitet: Det er kun noder som har etablert et ladestopp som har kapasitet til å betjene andre noder.

Med begrensningene som er satt og en objekt funksjon som minimerer antall plasser som etableres som ladestopp blir Alvdal foreslått som et alternativt ladestopp.

Modellen ble så tildelt et nytt steg for å sjekke om avstanden fra den valgte noden og start/slutt noden kunne minimeres mer (MiniMax). På grunn av et lite utvalg av potensielle stoppesteder fant ikke problemløseren et bedre stoppested.

## 6.1 Trøndelag

Tabell 3: Reiserute Trøndelag

Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Overfartstid (ferje)	Kjøretid (Tid-Ferje)	Rute	Subsyklus	Start	Stopp	Node	Navn	Inn	Ut	Til	Reiserute
1	Trondheim	2	Melhus	23		23					1	Trondheim	0	1	12	1
1	Trondheim	3	Orkanger	42		42					2	Melhus	3	1	3	12
1	Trondheim	5	Stjørdal	35		35					3	Orkanger	4	1	11	7
1	Trondheim	11	Rissa	80	25	55					4	Oppdal	2	1	2	4
1	Trondheim	12	Klæbu	12		12	1		1	12	5	Stjørdal	11	1	1	2
2	Melhus	3	Orkanger	29		29	1		11	2	6	Levanger	9	1	9	3
2	Melhus	4	Oppdal	90		90					7	Røros	1	1	4	11
2	Melhus	7	Røros	123		123			2		8	Steinkjer	8	1	6	10
3	Orkanger	11	Rissa	116	25	91	1		11	3	9	Frosta	10	1	5	13
3	Orkanger	4	Oppdal	106		106	2				10	Ålfjord	6	1	13	8
4	Oppdal	7	Røros	133		133			1		11	Rissa	5	1	10	6
5	Stjørdal	6	Levanger	44		44			2		12	Klæbu	0	1	7	9
5	Stjørdal	12	Klæbu	45		45			11		13	Namsos	7	1	8	5
5	Stjørdal	9	Frosta	38		38			1							
6	Levanger	8	Steinkjer	38		38			1							
6	Levanger	11	Rissa	106		106			4							
6	Levanger	9	Frosta	40		40	1		11	6	9					
7	Røros	12	Klæbu	136		136	1									
8	Steinkjer	13	Namsos	68		68			1		7	Røros	4		133	
8	Steinkjer	10	Ålfjord	116		116			2		4	Oppdal	2		Melhus	47
8	Steinkjer	11	Rissa	100		100			9		2	Melhus	3		Orkanger	18
10	Ålfjord	11	Rissa	48		48			1		3	Orkanger	11		Rissa	-73
10	Ålfjord	13	Namsos	127		127	1		11	10	13					179
2	Melhus	1	Trondheim	23		23					11	Rissa	5		Ålfjord	48
3	Orkanger	1	Trondheim	42		42					10	Ålfjord	13		Namsos	127
5	Stjørdal	1	Trondheim	35		35	1		5	1	13	Namsos	8		Steinkjer	68
11	Rissa	1	Trondheim	80	25	55					8	Steinkjer	6		Levanger	38
12	Klæbu	1	Trondheim	12		12					6	Levanger	9		Frosta	40
3	Orkanger	2	Melhus	29		29			1		9	Frosta	5		Stjørdal	38
4	Oppdal	2	Melhus	90		90				4	2					
7	Røros	2	Melhus	123		123					5	Stjørdal	4			
11	Rissa	3	Orkanger	116	25	91					3	Orkanger	11		Rissa	91
4	Oppdal	3	Orkanger	106		106			-2							
7	Røros	4	Oppdal	133		133	1		11	7	4					
6	Levanger	5	Stjørdal	44		44			-2							
12	Klæbu	5	Stjørdal	45		45			-11							
9	Frosta	5	Stjørdal	38		38	1		11	9	5					
8	Steinkjer	6	Levanger	38		38	1		11	8	6					
11	Rissa	6	Levanger	106		106			-4							
9	Frosta	6	Levanger	40		40			1							
12	Klæbu	7	Røros	136		136	1		11	12	7					
13	Namsos	8	Steinkjer	68		68	1		11	13	8					
10	Ålfjord	8	Steinkjer	116		116			-2							
11	Rissa	8	Steinkjer	100		100			-3							
11	Rissa	10	Ålfjord	48		48	1		11	11	10					
13	Namsos	10	Ålfjord	127		127			1							
Total kjøretid 885																

I TSP er storbyene utgangspunktet for leveranser til mindre byer og tettsteder i distriktet. I Trøndelag er dette Trondheim som er direkte tilknyttet fem av de tretten forskjellige destinasjoner i modellen. I en av disse må man benytte en av de fire potensielle ferjeovergangene. Her antar jeg at lastebilene sitt batteriforbruk er lik null og ikke er ansett som kjøretid. Dermed trekkes denne tiden ifra beregningen om total kjøretid. Fra Trondheim til Rissa er beregnet reisetid en time og 29 minutter, 25 av disse minuttene er oppgitt som overfartstid på en ferjestrekning.

Det betyr at total kjøretid fra Trondheim til Rissa blir en time og fire minutter. Slik fortsetter beregningene. Hvis det antas at denne reiseruten skal følges må det tas ut pauser på tre strekninger. Tiden fra en lokasjon til en annen som overskrider batterikapasiteten er markert i rødt og med negativ verdi.

Ruten benytter en ferjestrekning fra Orkanger til Rissa, totalt vil reiseruten ta 14 timer og 45 minutter. En slik rundtur ville krevd at lastebilsjåførene kjørte lengre enn tillatt kjøretid per døgn.

### 6.1.1 Trøndelag - to ruter

Siden det mest sannsynlig ikke vil være aktuelt å benytte seg av overnatting langs en slik rute innad i et distrikt så kan ruten deles opp i for eksempel to mindre ruter.

Tabell 4: Reiserute Trøndelag - to ruter

Rute 1							Rute 2						
Node	Navn	Inn	Ut	Til	Reiserute		Node	Navn	Inn	Ut	Til	Reiserute	
1	Trondheim	0	1	1	4	1	1	Trondheim	0	1	1	2	1
2	Klæbu	4	1	1	1	4	2	Stjørdal	0	1	1	3	2
3	Melhus	1	1	1	6	3	3	Frosta	1	1	1	4	3
4	Orkanger	0	1	1	3	6	4	Levanger	2	1	1	5	4
5	Oppdal	3	1	1	2	5	5	Steinkjer	3	1	1	6	5
6	Røros	2	1	1	5	2	6	Namsos	4	1	1	7	6
						1	7	Åfjord	5	1	1	8	7
							8	Rissa	6	1	1	1	8
													1
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp		Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp	
1	Trondheim	4	Orkanger	47	223		1	Trondheim	2	Stjørdal	34	236	
4	Orkanger	3	Melhus	28	195		2	Stjørdal	3	Frosta	38	198	
3	Melhus	6	Røros	125	70		3	Frosta	4	Levanger	39	159	
6	Røros	5	Oppdal	135	-65		4	Levanger	5	Steinkjer	38	121	
5	Oppdal	2	Klæbu	92	43		5	Steinkjer	6	Namsos	66	55	
2	Klæbu	1	Trondheim	31	12		6	Namsos	7	Åfjord	127	-72	
							7	Åfjord	8	Rissa	49	94	
							8	Rissa	1	Trondheim	52	42	
												Total reisetid 443	
												Total reisetid 458	

Her er modellen delt inn i to reiseruter og løst på nytt. Man kommer enda ikke unna behovet for å lade lastebilene.

Hvis det blir tilfellet at lastebilene ikke vil ha noe muligheter for å lade langs veien vil ikke teknologien være god nok enda for å nå de nodene som ligger lengst unna startnoden slik som Namsos som har en reisetid på fem timer og 56 minutter tur/retur, men om det er mulig å lade lastebilene langs veien kan en mulig løsning se ut slik som i Tabell 4:

Reiserute Trøndelag - to ruter.

### 6.2 Møre og Romsdal

For reiseruten mellom Oslo og Ålesund så vil vi få en optimal løsning lokalisert i Otta siden denne oppfyller alle kravene som er satt i modellen. Med en reisetid på tre timer og 45 minutter fra Oslo gjenstår det fortsatt 45 minutter før lastebilene må lades og sjåføren må ta sin obligatoriske pause. Steg to som minimerer MiniMax verdi returnerer også den samme totale avstanden på 937.





## 6.2.1 Møre og Romsdal – to ruter

Igjen vil en slik rute som i tabell 6 innebære overnatting, dermed er denne ruten og delt inn i to hvor den ene dekker de sørlige tettstedene og den andre de nordlige.

Tabell 7: Reiserute Møre og Romsdal - to ruter

Node	Navn	Inn	Ut	Til	Reiserute	Node	Navn	Inn	Ut	Til	Reiserute
1	Ålesund	0	1	1	2	1	Ålesund	0	1	1	2
2	Sykkylven	0	1	1	3	2	2	Åndalsnes	0	1	1
3	Ørsta	1	1	1	4	3	3	Molde	3	1	1
4	Volda	2	1	1	5	4	4	Kristiansund	2	1	1
5	Fosnavåg	3	1	1	6	5	5	Sunnalsøra	1	1	1
6	Ulsteinvik	4	1	1	1	6			0		
											1
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp	Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Ålesund	2	Sykkylven	43	227	1	Ålesund	2	Åndalsnes	96	174
2	Sykkylven	3	Ørsta	58	169	2	Åndalsnes	5	Sunnalsøra	120	54
3	Ørsta	4	Volda	11	158	5	Sunnalsøra	4	Kristiansund	95	-41
4	Volda	5	Fosnavåg	46	112	4	Kristiansund	3	Molde	74	101
5	Fosnavåg	6	Ulsteinvik	31	81	3	Molde	1	Ålesund	81	20
6	Ulsteinvik	1	Ålesund	95	-14						
			Total reisetid	284					Total reisetid	466	

I Tabell 7: Reiserute Møre og Romsdal - to ruter vises inndelingen. På en slik rute vil reisetiden totalt sett for begge rutene øke med 46 minutter. Det vil fortsatt være behov for to ladestopp (ett per rute).

### 6.3 Vestland

For å begrense Vestlands store geografiske område har lokasjonene blitt begrenset til tettsteder som tidligere var del av fylket Hordaland. For å komme til Bergen går veien over flere fjelloverganger, den største er Hardangerviddene og like før man kjører over viddene kommer man til Geilo som er lokasjonen Excel ser som den mest optimale stedet å stoppe. Fra utgangspunktet i Oslo så tar det tre timer og 23 minutter å reise dit, noe som betyr at lastebilen kan kjøre i vel en time til før den må lades.

Ved å benytte seg av steg to vil den nye løsningen fortsatt være å stoppe på Geilo.

Tabell 8: Oslo - Bergen

Kjøretid i minutter	Oslo	Hønefoss	Gol	Geilo	Eidfjord	Voss	Dale	Bergen			
Oslo	0	64	158	203	289	336	375	434			
Hønefoss	64	0	94	139	225	272	311	370			
Gol	158	94	0	45	131	178	217	276			
Geilo	203	139	45	0	86	133	172	231			
Eidfjord	289	225	131	86	0	47	86	145			
Voss	336	272	178	133	47	0	39	98			
Dale	375	311	217	172	86	39	0	58			
Bergen	434	370	276	231	145	98	58	0			
Potensielle stoppested	Oslo	Hønefoss	Gol	Geilo	Eidfjord	Voss	Dale	Bergen	Antall	Kapasitet	Ladestopp
Oslo											
Hønefoss											
Gol											
Geilo	1	1	1	1	1	1	1	1	8	8	1
Eidfjord											
Voss											
Dale											
Bergen											
Inkludert i ladestopp	1	1	1	1	1	1	1	1		Sum ladestopp	1
>=	1	1	1	1	1	1	1	1		<=	1
Avstand	203	139	45	0	86	133	172	231	<=	231	Maks kjøretid
										1009	MiniMax

I reiseplanleggingen for Vestland begynner vi i Bergen som er direkte tilknyttet nodene Askøy, Osøyro, Straume, Knarvik, Øystese og Lonevåg. Reiseruten har tolv potensielle ferjestrekninger. Den siste noden i reiseruten før lastebilen returnerer til Bergen er Straume og kan nås via nodene Bergen, Leirvik, Askøy eller Osøyro i.h.t modellen. Reisetiden er beregnet til å være ni timer og 54 minutter. Det benyttes to ferjestrekninger på denne løsningen; Leirvik – Rosendal og Osøyro – Leirvik, som er trukket ifra total kjøretid.

Tabell 9: TSP Vestland

Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Overfartstid (ferje)	Total kjøretid (Tid+ferje)	Rute	Subsyklus	Start	Stopp	Node	Navn	Inn	Ut	Til	Reiserute	
1	Bergen	3	Askøy	34		34					1	Bergen	0	1	1	4	1
1	Bergen	4	Osøyro	42		42	1		1	4	2	Leirvik	1	1	1	10	4
1	Bergen	5	Straume	19		19					3	Askøy	9	1	1	5	2
1	Bergen	8	Knarvik	35		35					4	Osøyro	0	1	1	2	10
1	Bergen	11	Øystese	83		83					5	Straume	10	1	1	1	9
1	Bergen	6	Lonevåg	46		46					6	Lonevåg	7	1	1	8	12
2	Leirvik	4	Osøyro	107	45	152		1			7	Vossevangen	5	1	1	11	7
2	Leirvik	5	Straume	150	45	195		-9			8	Knarvik	8	1	1	3	11
2	Leirvik	10	Rosendal	113	40	153	1	10	2	10	9	Odda	3	1	1	12	6
3	Askøy	5	Straume	28		28	1	10	3	5	10	Rosendal	2	1	1	9	8
3	Askøy	8	Knarvik	56		56		1			11	Øystese	6	1	1	6	3
4	Osøyro	5	Straume	49		49		-10			12	Kinsarvik	4	1	1	7	5
4	Osøyro	10	Rosendal	128	32	160		-2									1
4	Osøyro	11	Øystese	77		77		-6									
6	Lonevåg	7	Vossevangen	76		76		2									
6	Lonevåg	8	Knarvik	42		42	1	10	6	8							
6	Lonevåg	11	Øystese	65		65		1									
7	Vossevangen	8	Knarvik	94		94		-3									
7	Vossevangen	11	Øystese	72		72	1	10	7	11							
7	Vossevangen	12	Kinsarvik	45		45		1									
9	Odda	10	Rosendal	48		48		1									
9	Odda	11	Øystese	95	20	115		-3									
9	Odda	12	Kinsarvik	44		44	1	10	9	12							
10	Rosendal	11	Øystese	112	20	132		-4									
11	Øystese	12	Kinsarvik	71		71		2									
3	Askøy	1	Bergen	34		34											
4	Osøyro	1	Bergen	42		42											
5	Straume	1	Bergen	19		19	1		5	1							
8	Knarvik	1	Bergen	35		35											
11	Øystese	1	Bergen	83		83											
6	Lonevåg	1	Bergen	46		46											
4	Osøyro	2	Leirvik	107	45	152	1	10	4	2							
5	Straume	2	Leirvik	150	45	195		9									
10	Rosendal	2	Leirvik	113	40	153		1									
5	Straume	3	Askøy	28		28		1									
8	Knarvik	3	Askøy	56		56	1	10	8	3							
5	Straume	4	Osøyro	49		49		10									
10	Rosendal	4	Osøyro	128	32	160		2									
11	Øystese	4	Osøyro	77		77		6									
7	Vossevangen	6	Lonevåg	76		76		-2									
8	Knarvik	6	Lonevåg	42		42		1									
11	Øystese	6	Lonevåg	65		65	1	10	11	6							
8	Knarvik	7	Vossevangen	94		94		3									
11	Øystese	7	Vossevangen	72		72		1									
12	Kinsarvik	7	Vossevangen	45		45	1	10	12	7							
10	Rosendal	9	Odda	48		48	1	10	10	9							
11	Øystese	9	Odda	95	20	115		3									
12	Kinsarvik	9	Odda	44		44		1									
11	Øystese	10	Rosendal	112	20	132		4									
12	Kinsarvik	11	Øystese	71		71		-2									
						Tidsforbruk	596										

### 6.3.1 Vestland – to ruter

På Vestland klarer man en rundtur uten overnatting, men her er det muligheter for å redusere antall ladestopp.

Tabell 10: Reiserute Vestland - to ruter

Node	Navn	Inn	Ut	Til	Reiserute	Node	Navn	Inn	Ut	Til	Reiserute		
1	Bergen	0	1	1	3	1	Bergen	0	1	1	2	1	
2	Osøyro	4	1	1	1	3	2	Leirvik	0	1	1	3	2
3	Straume	0	1	1	4	4	3	Rosendal	1	1	1	4	3
4	Askøy	1	1	1	5	5	4	Odda	2	1	1	6	4
5	Knarvik	2	1	1	6	6	5	Øystese	5	1	1	1	6
6	Lonevåg	3	1	1	2	2	6	Kinsarvik	3	1	1	7	7
					1	7	Vossevangen	4	1	1	5	5	
													1
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp	Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp		
1	Bergen	3	Straume	21	249	1	Bergen	2	Leirvik	96	174		
3	Straume	4	Askøy	30	219	2	Leirvik	3	Rosendal	74	100		
4	Askøy	5	Knarvik	54	165	3	Rosendal	4	Odda	58	42		
5	Knarvik	6	Lonevåg	48	117	4	Odda	6	Kinsarvik	44	-2	226	
6	Lonevåg	2	Osøyro	48	69	6	Kinsarvik	7	Vossevangen	47		179	
2	Osøyro	1	Bergen	48	21	7	Vossevangen	5	Øystese	71		108	
				Total reisetid	249	5	Øystese	1	Bergen	84		24	
										Total reisetid	474		

Som det kommer frem i Tabell 9: TSP Vestland er det behov for å lade to ganger på en rundtur, men ved å splitte denne rundturen opp i to kan antall ladestopp reduseres til ett. Totalt sett øker kjøretiden med to timer og 7 minutter.

## 6.4 Rogaland

I den siste reiseruten skal det sees på en rute til Rogaland og en rute mellom tettstedene her. Turen fra Oslo går ned langs kysten, gjennom Kristiansand før den ender opp i Stavanger. På denne ruten fant Excel den optimale løsningen til å være et stopp i Grimstad. Ved å benytte seg av steg to vil fortsatt løsningen forbli Grimstad.

Tabell 11: Oslo - Stavanger

Kjøretid i minutter	Oslo	Sem	Kragerø	Grimstad	Kristiansand	Lindesnes	Flekkefjord	Vikeså	Stavanger			
Oslo	0	84	170	230	266	323	369	432	479			
Sem	84	0	86	146	182	239	285	348	395			
Kragerø	170	86	0	60	96	153	199	262	309			
Grimstad	230	146	60	0	36	93	139	202	249			
Kristiansand	266	182	96	36	0	57	103	166	213			
Lindesnes	323	239	153	93	57	0	46	109	156			
Flekkefjord	369	285	199	139	103	46	0	63	110			
Vikeså	432	348	262	202	166	109	63	0	50			
Stavanger	479	395	309	249	213	156	110	50	0			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Potensielle stoppested	Oslo	Sem	Kragerø	Grimstad	Kristiansand	Lindesnes	Flekkefjord	Vikeså	Stavanger	Antall	Kapasitet	Ladestopp
Oslo												
Sem												
Kragerø												
Grimstad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	9	1
Kristiansand												
Lindesnes												
Flekkefjord												
Vikeså												
Stavanger												
Inkludert i ladestopp	1	1	1	1	1	1	1	1	1		Sum ladestopp	1
>=	1	1	1	1	1	1	1	1	1		<=	1
Avstand	230	146	60	0	36	93	139	202	249	<=	249	Maks kjøretid
											1155	MiniMax

I reiseplanleggingen for Rogaland starter ruten i Stavanger som er tilknyttet nodene Bryne, Ålgård, Tau, Åkrehamn og Haugesund. Reiseruten har 8 potensielle ferjestrekninger. Den siste noden i reiseruten før lastebilen returnerer til Stavanger er Åkrehamn og kan nås via nodene Haugesund, Stavanger eller Bryne i.h.t modellen. Reisetiden er beregnet til å være ti timer og 41 minutter. Det benyttes to ferjestrekninger på denne løsningen; Tau – Sand og Åkrehamn – Stavanger som er trukket ifra total kjøretid.



Tabell 12: TSP Rogaland

Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Overfartstid (ferje)	Total kjøretid (Tid-Ferje)	Rute	Subsyklus	Start	Stopp	Node	Navn	Inn	Ut	Til	Reiserute	
1	Stavanger	2	Bryne	34		34	1		1	2	1	Stavanger	0	1	1	2	1
1	Stavanger	3	Ålgård	25		25					2	Bryne	0	1	1	3	2
1	Stavanger	7	Tau	28		28					3	Ålgård	1	1	1	4	3
1	Stavanger	10	Åkrehamn	114	24	90					4	Egersund	2	1	1	6	4
1	Stavanger	11	Haugesund	115	24	91					5	Moi	4	1	1	7	6
2	Bryne	3	Ålgård	22		22	1	11	2	3	6	Hauge	3	1	1	5	5
2	Bryne	10	Åkrehamn	137	24	113		-11			7	Tau	5	1	1	8	7
3	Ålgård	4	Egersund	55		55	1	11	3	4	8	Sand	6	1	1	13	8
3	Ålgård	7	Tau	44		44		-4			9	Aksdal	9	1	1	11	13
4	Egersund	5	Moi	43		43		-2			10	Åkrehamn	11	1	1	1	12
4	Egersund	6	Hauge	28		28	1	11	4	6	11	Haugesund	10	1	1	10	9
4	Egersund	7	Tau	86		86		-3			12	Vikedal	8	1	1	9	11
5	Moi	6	Hauge	39		39		1			13	Sauda	7	1	1	12	10
5	Moi	7	Tau	106		106	1	11	5	7							1
7	Tau	8	Sand	112	13	99	1	11	7	8							
7	Tau	9	Aksdal	123		123											
8	Sand	9	Aksdal	99		99		-3									
8	Sand	13	Sauda	55		55	1	11	8	13							
9	Aksdal	11	Haugesund	19		19	1	11	9	11							
9	Aksdal	12	Vikedal	12		12		1									
10	Åkrehamn	11	Haugesund	30		30		1									
11	Haugesund	12	Aksdal	63		63		2									164
12	Vikedal	13	Sauda	52		52		1									65
2	Bryne	1	Stavanger	34		34											10
3	Ålgård	1	Stavanger	29		29											-42
7	Tau	1	Stavanger	28		28											206
10	Åkrehamn	1	Stavanger	114	24	90	1		10	1							187
11	Haugesund	1	Stavanger	115	24	91											157
3	Ålgård	2	Bryne	22		22		1									
10	Åkrehamn	2	Bryne	137	24	113		11									
4	Egersund	3	Ålgård	55		55		1									
7	Tau	3	Ålgård	44		44		4									
5	Moi	4	Egersund	43		43		2									
6	Hauge	4	Egersund	28		28		1									
7	Tau	4	Egersund	86		86		3									
6	Hauge	5	Moi	39		39	1	11	6	5							
7	Tau	5	Moi	106		106		1									
8	Sand	7	Tau	112	13	99		1									
9	Aksdal	7	Tau	123		123		4									
9	Aksdal	8	Sand	99		99		3									
13	Sauda	8	Sand	55		55		1									
11	Haugesund	9	Aksdal	19		19		1									
12	Vikedal	9	Aksdal	12		12	1	11	12	9							
11	Haugesund	10	Åkrehamn	30		30	1	11	11	10							
12	Vikedal	11	Haugesund	63		63		-2									
13	Sauda	12	Vikedal	52		52	1	11	13	12							
<b>Total tid</b>						<b>641</b>											

## 6.4.1 Rogaland – to ruter

Tabell 13: Reiserute Rogaland - to ruter

Node	Navn	Inn	Ut	Til	Reiserute	Node	Navn	Inn	Ut	Til	Reiserute	
1	Stavanger	0	1	8	1	1	Stavanger	0	1	1	3	1
2	Tau	6	1	1	8	2	Bryne	4	1	1	1	3
3	Sand	5	1	1	7	3	Ålgård	0	1	1	6	6
4	Sauda	4	1	1	6	4	Egersund	3	1	1	2	5
5	Vikedal	3	1	1	5	5	Moi	2	1	1	4	4
6	Aksdal	2	1	1	4	6	Hauge	1	1	1	5	2
7	Haugesund	1	1	1	3							1
8	Åkrehamn	0	1	1	2							
					1							
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp	Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp	
1	Stavanger	8	Åkrehamn	90	180	1	Stavanger	3	Ålgård	28	242	
8	Åkrehamn	7	Haugesund	30	150	3	Ålgård	6	Hauge	70	172	
7	Haugesund	6	Aksdal	18	132	6	Hauge	5	Moi	39	133	
6	Aksdal	5	Vikedal	48	84	5	Moi	4	Egersund	43	90	
5	Vikedal	4	Sauda	48	36	4	Egersund	2	Bryne	54	36	
4	Sauda	3	Sand	55	-19	215	2	Bryne	1	Stavanger	34	2
3	Sand	2	Tau	99		116	<b>Total reisetid</b>					<b>268</b>
2	Tau	1	Stavanger	28		88						
<b>Total reisetid</b>						<b>416</b>						

I Rogaland hadde det også vært behov for overnatting på ruten og som med tre av de andre rutene klarer vi å redusere antall ladestopp i Rogaland. Med en løsning hvor det kjøres to ruter vil total reisetid øke med 43 minutter og det vil være nødvendig med et ladestopp i Sauda.

## 6.5 Tromsø

For å vise en bedre nytte av den første modellen legger jeg ved enda en reiserute som går fra Oslo til Tromsø. Denne reisen vil kreve flere ladestopp langs ruten.

Tabell 14: Oslo – Tromsø (1)

Kjøretid i minutter	Oslo	Alvdal	Trondheim	Levanger	Steinkjer	Namsskogan	Mosjøen	Storforshei	Fauske	Innhavet	Narvik	Bardufoss	Tromsø			
Oslo	0	219	389	444	501	629	728	826	947	1047	1166	1259	1405			
Alvdal	219	0	166	234	278	406	505	603	724	824	982	1075	1190			
Trondheim	389	166	0	81	112	240	339	437	558	658	981	1074	1189			
Levanger	444	234	81	0	40	162	260	358	474	574	728	819	930			
Steinkjer	501	278	112	40	0	128	227	325	446	546	704	797	912			
Namsskogan	629	406	240	162	128	0	99	197	318	418	576	669	784			
Mosjøen	728	505	339	260	227	99	0	98	219	319	477	570	685			
Storforshei	826	603	437	358	325	197	98	0	126	226	384	477	592			
Fauske	947	724	558	474	446	318	219	126	0	100	258	351	466			
Innhavet	1047	824	658	574	546	418	319	226	100	0	158	251	366			
Narvik	1166	982	981	728	704	576	477	384	258	158	0	93	208			
Bardufoss	1259	1075	1074	819	797	669	570	477	351	251	93	0	116			
Tromsø	1405	1194	1189	930	912	784	685	592	466	366	208	116	0			
Potensielle stoppested	Oslo	Alvdal	Trondheim	Levanger	Steinkjer	Namsskogan	Mosjøen	Storforshei	Fauske	Innhavet	Narvik	Bardufoss	Tromsø	Antall	Kapasitet	Ladestopp
Oslo	1													1	13	1
Alvdal		1												1	13	1
Trondheim			1											3	13	1
Levanger				1	1									3	13	1
Steinkjer														2	13	1
Namsskogan						1	1							2	13	1
Mosjøen														1	13	1
Storforshei								1						1	13	1
Fauske									1	1				2	13	1
Innhavet										1				2	13	1
Narvik												1	1	1	13	1
Bardufoss											1	1		2	13	1
Tromsø													1	1	13	1
Inkludert i ladestopp >=	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		Sum ladestopp	8
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		<=	8
Avstand	0	0	81	0	40	0	99	0	0	100	93	0	0	<=	100	Maks kjørelengde
															413	Total

Denne løsningen deler opp ruten i ca. like store strekninger. Grunnen til at det er satt en begrensning på åtte eller færre ladestopp er fordi det ikke er behov for flere på strekningen fra Oslo – Tromsø når man plasserer ett ladestopp i start og sluttnoden. Ved å tillate modellen å plassere så mange stopp som mulig vil alle nodene få hver sitt ladestopp. Ved å inkludere steg to og minimere avstanden fra den valgte noden og start/slutt noden fikk jeg følgende løsning:

Tabell 15: Oslo - Tromsø (2)

Kjøretid i minutter	Oslo	Alvdal	Trondheim	Levanger	Steinkjer	Namsskogan	Mosjøen	Storforshei	Fauske	Innhavet	Narvik	Bardufoss	Tromsø			
Oslo	0	219	389	444	501	629	728	826	947	1047	1166	1259	1405			
Alvdal	219	0	166	234	278	406	505	603	724	824	982	1075	1190			
Trondheim	389	166	0	81	112	240	339	437	558	658	981	1074	1189			
Levanger	444	234	81	0	40	162	260	358	474	574	728	819	930			
Steinkjer	501	278	112	40	0	128	227	325	446	546	704	797	912			
Namsskogan	629	406	240	162	128	0	99	197	318	418	576	669	784			
Mosjøen	728	505	339	260	227	99	0	98	219	319	477	570	685			
Storforshei	826	603	437	358	325	197	98	0	126	226	384	477	592			
Fauske	947	724	558	474	446	318	219	126	0	100	258	351	466			
Innhavet	1047	824	658	574	546	418	319	226	100	0	158	251	366			
Narvik	1166	982	981	728	704	576	477	384	258	158	0	93	208			
Bardufoss	1259	1075	1074	819	797	669	570	477	351	251	93	0	116			
Tromsø	1405	1194	1189	930	912	784	685	592	466	366	208	116	0			
Potensielle stoppested	Oslo	Alvdal	Trondheim	Levanger	Steinkjer	Namsskogan	Mosjøen	Storforshei	Fauske	Innhavet	Narvik	Bardufoss	Tromsø	Antall	Kapasitet	Ladestopp
Oslo	1													1	13	1
Alvdal		1												1	13	1
Trondheim			1											3	13	1
Levanger				1	1									3	13	1
Steinkjer														2	13	1
Namsskogan						1	1	1						3	13	1
Mosjøen														1	13	1
Storforshei									1					1	13	1
Fauske										1				1	13	1
Innhavet											1			1	13	1
Narvik												1	1	2	13	1
Bardufoss												1	1	1	13	1
Tromsø													1	1	13	1
Inkludert i ladestopp >=	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		Sum ladestopp	8
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		<=	8
Avstand	0	0	81	0	40	99	0	98	0	0	93	0	0	<=	100	Maks kjørelengde
															411	Minimax

Den nye løsningen blir da å flytte ladestoppet fra Namsskogan til Mosjøen og vi får en lavere MiniMax verdi på 411 (fra 413). Det vil si at den totale avstanden fra et ladestopp til et annet kan reduseres med to minutter uten å påvirke maks kjørelengde.

Tabell 16: Tromsø (Fra;Til;Kjøretid)

Oslo	Alvdal	219
Alvdal	Levanger	234
Levanger	Mosjøen	260
Mosjøen	Fauske	219
Fauske	Bardufoss	351
Bardufoss	Tromsø	116

## 6.6 Reiserutene

Etter at TSP er løst kan det settes opp en ny tabell som beskriver hvor i den valgte ruten lastebilene må stoppe for å lade.

Ruten er nummerert etter løsningen som ble funnet med fra og til destinasjonene og tiden det tar fra en lokasjon til den neste. Eventuelle overfartstider med ferje er trukket ifra.

Eksempelvis vil vi se at i Trøndelag går første tur fra Trondheim til Klæbu. Dette vil i gjennomsnitt ta tolv minutter.

For å finne de nødvendige ladestoppene er tiden fra ett stopp til ett annet trukket fra den oppgitte tiden en lastebil kan kjøre før den må lade. Fra Trondheim til Klæbu blir dette da  $270 - 12 = 258$ . Neste utregning blir da 258 minus tiden til neste destinasjon. Denne formelen kan da kopieres nedover. For å visualisere når lastebilene kjører lengre enn batterikapasiteten legges det inn en betingelse om at alle celler med verdier under null i kolonnen «Ladestopp» skal markeres i rødt. Her antas det at lastebilene kan lade ved siste stoppested før den kjører videre.

Resultatet fra reiserutene vil nå bli presentert.



### Trøndelag

Ruten starter i Trondheim og skal innto tolv lokasjoner før den returnerer til Trondheim. Denne løsningen har en total kjøretid på 14 timer og 45 minutter og krever at lastebilen må lade før vi forlater Røros, Orkanger og Namsos.

Siste stoppested for denne ruten før lastebilen returnerer til Trondheim er Stjørdal. Ved ankomst til Trondheim gjenstår det 51 minutter før lastebilen må lade.

Døgnhvile skal gjennomføres senest etter elleve timer med kjøring. For ruten i Trøndelag må det legges inn en slik hvilepause hvis en sjåfør skal kjøre hele ruten.

Tabell 17: Reiserute Trøndelag

Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp			
1	Trondheim	12	Klæbu	12	258			
12	Klæbu	7	Røros	136	122			
7	Røros	4	Oppdal	133	-11	137		
4	Oppdal	2	Melhus	90		47		
2	Melhus	3	Orkanger	29		18		
3	Orkanger	11	Rissa	91		-73	179	
11	Rissa	10	Åfjord	48			131	
10	Åfjord	13	Namsos	127			4	
13	Namsos	8	Steinkjer	68			-64	202
8	Steinkjer	6	Levanger	38				164
6	Levanger	9	Frosta	40				124
9	Frosta	5	Stjørdal	38				86
5	Stjørdal	1	Trondheim	35				51

Som resultatet viste i Tabell 4: Reiserute Trøndelag - to ruter kan antall ladestopp reduseres ned til ett per rute hvis kjøreruten deles inn i to. Rute en består av seks tettsteder (inkl. startnode) og vil fortsatt måtte ha et ladestopp på Røros før den kjører videre til Oppdal. Den totale kjøretiden for denne ruten blir syv timer og 38 minutter.

Rute to inkluderer de resterende tettstedene. Denne ruten benytter seg av en ferjestrekningen fra Rissa til Trondheim på slutten av turen samt et ladestopp i Namsos. Den totale kjøretiden for rute to blir syv timer og 23 minutter. Totalt sett øker reisetiden med 16 minutter hvis ruten deles opp i to, men reduseres antall ladestopp fra tre til to.

### Møre og Romsdal

Ruten starter i Ålesund og skal innom ni lokasjoner før den returnerer til Ålesund.

Denne løsningen har en total kjøretid på elleve timer og 44 minutter og krever at lastebilen må lade på Sykkylven og Sunndalsøra.

Siste stoppested for denne ruten før lastebilen returnerer til Ålesund er Molde. Ved ankomst til Ålesund gjenstår det 22 minutter før batterikapasiteten er brukt opp.

Døgnhvile skal gjennomføres senest etter elleve timer med kjøring. For ruten i Møre og Romsdal er det nødvendig med en slik hvilepause langs ruten.

Tabell 18: Reiserute Møre og Romsdal

Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp		
1	Ålesund	4	Ulsteinvik	96	174		
4	Ulsteinvik	5	Fosnavåg	30	144		
5	Fosnavåg	7	Volda	46	98		
7	Volda	6	Ørsta	11	87		
6	Ørsta	3	Sykkylven	58	29		
3	Sykkylven	2	Åndalsnes	100	-71	170	
2	Åndalsnes	10	Sunndalsøra	115		55	
10	Sunndalsøra	9	Kristiansund	94		-39	176
9	Kristiansund	8	Molde	73			103
8	Molde	1	Ålesund	81			22

Resultatet fra Tabell 7: Reiserute Møre og Romsdal - to ruter gir ingen reduksjon i antall ladestopp, men tar vekk behovet for overnatting. Rute en består av seks tettsteder (inkl. startnode) og mangler 14 minutter fra å klare en hel rundtur. I denne modellen må ladestoppet skje i Ulsteinvik. Ruten består av ferjestrekninger fra Ålesund til Sykkylven, Sykkylven til Ørsta og fra Ulsteinvik til Ålesund. Den totale kjøretiden for denne ruten blir fire timer og 44 minutter.

Rute to har en total kjøretid på syv timer og 46 minutter. Denne inkluderer de resterende tettstedene og består av en ferjestrekning fra Molde til Ålesund. Her må lastebilene lade i Sunndalsøra. Totalt sett øker en TSP i Møre og Romsdal med 46 minutter hvis det skal kjøres to ruter.

## Vestland

Ruten starter i Bergen og skal innom elleve tettsteder før den returnerer til Bergen.

Med denne løsningen blir total kjøretid på ni timer og 56 minutter og krever at lastebilen må lades to ganger. En gang i Kinsarvik og en gang i Knarvik.

Siste stoppested for denne ruten er tettstedet Straume som ligger på øyen Sotra 19 minutter unna Bergen. Ved ankomst til Bergen gjenstår det to timer og 47 minutter før lastebilen må lade.

Som vanlig skal døgnhvile gjennomføres senest etter elleve timer med kjøring, men for ruten i Vestland er det ikke nødvendig med en slik hvilepause langs ruten.

Tabell 19: Reiserute Vestland

Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp		
1	Bergen	4	Osøyro	42	228		
4	Osøyro	2	Leirvik	62	166		
2	Leirvik	10	Rosendal	73	93		
10	Rosendal	9	Odda	48	45		
9	Odda	12	Kinsarvik	44	1		
12	Kinsarvik	7	Vossevangen	45	-44	225	
7	Vossevangen	11	Øystese	72		153	
11	Øystese	6	Lonevåg	65		88	
6	Lonevåg	8	Knarvik	42		46	
8	Knarvik	3	Askøy	56		-10	214
3	Askøy	5	Straume	28			186
5	Straume	1	Bergen	19			167

Som vist i Tabell 10: Reiserute Vestland - to ruter kan antall ladestopp reduseres ned til ett når kjøreruten deles inn i to. Rute en består av seks tettsteder (inkl. startnode) og kan kjøre ruten i sin helhet uten å måtte lade. Den totale kjøretiden for denne ruten blir fire timer og ni minutter og har inkludert de nærmeste tettstedene rundt Bergen.

Rute to benytter seg av to ferjestrekningen fra Bergen til Leirvik og fra Leirvik til Rosendal og må ha ett ladestopp i Odda. Den totale kjøretiden for rute to blir syv timer og 54 minutter. Totalt sett øker reisetiden med to timer og to minutter hvis ruten deles opp i to, men reduseres antall ladestopp fra to til ett. Det er mulig å balansere tiden på reiserutene noe ved for eksempel å la rute en inkludere Leirvik istedenfor rute to. Ved å løse TSP på nytt vil denne ruten kreve at bilen lades fire minutter før den ankommer Bergen. Uten veldig spesifikke stoppesteder eller startpunkter vil dette da bare føre til ekstra ladekostnader (gitt at det finnes lademuligheter langs ruten) siden antall ladestopp ikke blir redusert fra TSP som inkluderer alle tettstedene.

## Rogaland

Ruten starter i Stavanger og skal innom tolv lokasjoner før den returnerer til Stavanger. Denne løsningen har en total kjøretid på ti timer og 41 minutter og krever at lastebilen må lades to ganger. Først i Moi så i Sauda.

Siste stoppested for denne ruten før lastebilen returnerer til Stavanger er Åkrehamn. Ved ankomst til Stavanger gjenstår det en timer og syv minutter med batterikapasitet.

Døgnhvile skal gjennomføres senest etter elleve timer med kjøring. For ruten i Rogaland er det ikke nødvendig med en slik hvilepause langs ruten.

Tabell 20: Reiserute Rogaland

Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp		
1	Stavanger	2	Bryne	34	236		
2	Bryne	3	Ålgård	22	214		
3	Ålgård	4	Egersund	55	159		
4	Egersund	6	Hauge	28	131		
6	Hauge	5	Moi	39	92		
5	Moi	7	Tau	106	-14	164	
7	Tau	8	Sand	99		65	
8	Sand	13	Sauda	55		10	
13	Sauda	12	Vikedal	52		-42	218
12	Vikedal	9	Aksdal	12			206
9	Aksdal	11	Haugesund	19			187
11	Haugesund	10	Åkrehamn	30			157
10	Åkrehamn	1	Stavanger	90			67

I dette siste eksemplet så ble rutene delt opp i en nordgående rute og en i sør slik som vist i Tabell 13: Reiserute Rogaland - to ruter. Her kan også antall ladestopp reduseres fra to til ett.

Det er rute en som krever ett ladestopp med en total kjøretid på seks timer og 56 minutter. Denne ruten inkluderer også en ferjestrekning mellom Stavanger og Åkrehamn og fra Sand til Tau. Rute to kjører fra Stavanger og til syv tettsteder før den returnerer til startnoden. Rute to kan kjøre sin rute i sin helhet med en reisetid på fire timer og 28 minutter, men er bare to minutter unna å bruke sin fulle batterikapasitet.

Totalt sett bruker disse to rutene elleve timer og 24 minutter, noe som er en økning på 43 minutter.

## 6.7 Alternative løsninger

Oppgavens TSP kan brukes til flere løsninger enn den som er kommet frem til ovenfor. I dette avsnittet har jeg valgt meg to alternative problemstillinger som kan komme fra oppgaven med noen modifikasjoner.

### 6.7.1 Alternativ 1: Ingen ladestopp

Hvis det er tilfellet at det ikke er muligheter for å lade andre steder enn på startnoden vil det være behov for videre forbedring av reiserutene.

Etter å ha løst TSP på nytt med mindre ruter viser det seg at det er tettsteder som ligger for langt unna. Hvis disse tettstedene er del av reiseruten til en bedrift, må de nås med andre transportmidler. Den totale kjøretiden vil i så tilfelle øke drastisk.

*Trøndelag*

Rute 1					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Trondheim	4	Orkanger	47	223
4	Orkanger	3	Melhus	28	195
3	Melhus	2	Klæbu	19	176
2	Klæbu	1	Trondheim	31	145
			Reisetid	125	
Rute 2					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Trondheim	2	Oppdal	109	161
2	Oppdal	1	Trondheim	109	52
			Reisetid	218	
Rute 3					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Trondheim	2	Stjørdal	34	236
2	Stjørdal	3	Frosta	38	198
3	Frosta	5	Steinkjer	72	126
5	Steinkjer	4	Levanger	38	88
4	Levanger	1	Trondheim	44	44
			Reisetid	226	
Rute 4					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Trondheim	2	Rissa	52	218
2	Rissa	3	Åfjord	52	166
3	Åfjord	1	Trondheim	91	75
			Reisetid	195	
			Total reisetid	764	
		Utelatt:	Namsos	360	
			Røros	288	
			Total inkl. utelatt	1412	

I løsningen for Trøndelag vil det være behov for fire ruter. Rute en forholder seg til de nærmeste tettstedene til startnoden og har en reisetid på to timer og fem minutter. Dette er den korteste ruten i Trøndelag. Rute 2 kjører kun til Oppdal og har en reisetid på tre timer og 38 minutter. Rute tre har inkludert tettstedene helt opp til Steinkjer som ligger tre timer og ti minutter unna startnoden Trondheim. Dette er den lengste ruten med en reisetid på tre timer og 46 minutter. Den siste ruten som en elektrisk lastebil kan kjøre uten å måtte lade er fra Trondheim til Åfjord via Rissa med en reisetid på tre timer 15 minutter. Dette er også den eneste turen som krever ferje.

Den totale reisetiden for alle fire rutene er tolv timer og 44 minutter, men hvis alle nodene fortsatt må inkluderes må Namsos og Røros få tildelt egne ruter da disse ikke kan nås på fire og en halv time. Reisetiden til Namsos og Røros inkluderer retur. Den totale reisetiden blir da 23 timer og 32 minutter noe som er en økning på åtte timer og 47 minutter fra den opprinnelige TSP modellen eller åtte timer og 31 minutter fra to ruter.

### *Møre og Romsdal*

Rute 1					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Ålesund	2	Sykkylven	43	227
2	Sykkylven	3	Ørsta	58	169
3	Ørsta	4	Volda	11	158
4	Volda	1	Ålesund	76	82
			Reisetid	188	
Rute 2					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Ålesund	2	Fosnavåg	107	163
2	Fosnavåg	3	Ulsteinvik	31	132
3	Ulsteinvik	1	Ålesund	95	37
			Reisetid	233	
Rute 3					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Ålesund	2	Åndalsnes	96	174
2	Åndalsnes	3	Molde	73	101
3	Molde	1	Ålesund	81	20
			Reisetid	250	
			Total reisetid	671	
		Utelatt:	Kristiansund	292	
			Sunnalsøra	316	
		Total inkl. utelatt		1279	

For å unngå ladestopp i Møre og Romsdal kan en løsning være å dele den inn i tre ruter. En sørgående ned til Volda, en til vest for Fosnavåg og Ulsteinvik og en siste nordlig rute. Rute tre er den lengste ruten med en total tid på fire timer og ti minutter og klarer å være tilbake med kun 20 minutter gjenstående batterikapasitet. I denne modellen var det Kristiansund og Sunndalsøra som ikke kunne bli inkludert på de elektriske lastebilene. Det kan tenke seg at hvis en lastebil først må kjøre til Kristiansund så vil Sunndalsøra bli inkludert da det er ca. en og en halv time imellom disse to stedene. I tabellen er de vel og merke ikke samkjørte.

Den totale reisetiden for alle tre rutene blir elleve timer og elleve minutter. Igjen hvis alle nodene må inkluderes øker den totale reisetiden til 21 timer og 19 minutter. Dette er en økning på ni timer og 35 minutter fra TSP modellen som inkluderte alle nodene eller åtte timer og 49 minutter fra to ruter.

### Vestland

Rute 1					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Bergen	2	Vossevangen	95	175
2	Vossevangen	3	Øystese	70	105
3	Øystese	1	Bergen	84	21
			Reisetid	249	
Rute 2					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Bergen	2	Rosendal	120	150
2	Rosendal	1	Bergen	120	30
			Reisetid	240	
Rute 3					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Bergen	2	Leirvik	95	175
2	Leirvik	1	Bergen	95	80
			Reisetid	190	
Rute 4					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Bergen	2	Kinsarvik	132	138
2	Kinsarvik	1	Bergen	132	6
			Reisetid	264	
Rute 5					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Bergen	2	Osøyro	38	232
2	Osøyro	6	Lonevåg	55	177
6	Lonevåg	5	Knarvik	48	129
5	Knarvik	3	Straume	40	89
3	Straume	4	Askøy	30	59
4	Askøy	1	Bergen	33	26
			Reisetid	244	
			Total reisetid	1187	
		Utelatt:	Odda	284	
		Total inkl. utelatt		1471	



Reiseruten i Vestland var den ruten som kom best ut i antall ladestopp både for den originale TSP modellen, men også når ruten ble delt inn i to. Ved å ikke tillate ladestopp blir dette det distriktet som må deles inn i flest ruter og tar lengst tid å kjøre. Dette kommer av at spesielt områdene Rosendal, Odda og Kinsarvik ligger nesten like langt unna Bergen i reisetid. Tiden fra og til Rosendal og Kinsarvik er nesten lik maks batterikapasitet slik at man ikke klarer en tur innom noen av de andre nodene uten å overstige batterikapasiteten, mens Odda overstiger kapasiteten og må nås ved andre tilgjengelige transportmidler. Den totale reisetiden i Vestland blir 19 timer og 47 minutter. Inkludert Odda blir den totale reisetiden på 24 timer og 31 minutter. Dette er en økning på 14 timer og 35 minutter fra den originale TSP modellen eller tolv timer og 28 minutter fra to ruter.

### Rogaland

Rute 1					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Stavanger	2	Tau	28	242
2	Tau	3	Sand	99	143
3	Sand	1	Stavanger	127	16
			Reisetid	254	
Rute 2					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Stavanger	2	Aksdal	81	189
2	Aksdal	3	Haugesund	18	171
3	Haugesund	4	Åkrehamn	30	141
4	Åkrehamn	1	Stavanger	90	51
			Reisetid	219	
Rute 3					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Stavanger	2	Vikedal	124	146
2	Vikedal	1	Stavanger	124	22
			Reisetid	248	
Rute 4					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Stavanger	3	Ålgård	28	242
3	Ålgård	6	Hauge	70	172
6	Hauge	5	Moi	39	133
5	Moi	4	Egersund	43	90
4	Egersund	2	Bryne	54	36
2	Bryne	1	Stavanger	34	2
			Reisetid	268	
			Total reisetid	989	
		Utelatt:	Sauda	304	
			Total inkl. utelatt	1293	

Den siste reiseruten i Rogaland må deles inn i fire ruter for å ladestopp langs ruten. Her ble Sauda inkludert i rute 3, men da ble reiseruten for lang. Aksdal som ligger mellom Vikedal



og Haugesund kan eventuelt flyttes fra rute 2 til rute 3. Da vil man vil fortsatt få en gyldig inndeling.

Den totale reisetiden i Rogaland blir 16 timer og 29 minutter. Inkludert Sauda blir den totale reisetiden på 21 timer og 33 minutter. Dette er en økning på ti timer og 52 minutter fra den originale TSP modellen eller ti timer og ni minutter fra to ruter.

### 6.7.2 Alternativ 2 Ingen ladestopp og økt batterikapasitet (50%)

Det er fornuftig å tenke at teknologien rundt batterikapasiteten vil forbedre seg ved årene noe som gjør at lastebilene kan kjøre enda lengre før de må lade. I dette alternative har batterikapasiteten blitt økt med 50% til seks timer og 45 minutter mens rutene justeres. Siden det fortsatt ikke er muligheter for å lade langs ruten er heller ikke pausetiden til en sjåfør inkludert. Den forekommer fortsatt etter fire og en halv time.

#### Trøndelag

Rute 1					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Trondheim	2	Klæbu	24	381
2	Klæbu	3	Stjørdal	49	332
3	Stjørdal	4	Frosta	38	294
4	Frosta	6	Steinkjer	72	222
6	Steinkjer	7	Namsos	70	152
7	Namsos	5	Levanger	103	49
5	Levanger	1	Trondheim	44	5
			Reisetid	400	
Rute 2					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Trondheim	4	Rissa	55	350
4	Rissa	5	Åfjord	49	301
5	Åfjord	3	Orkanger	116	185
3	Orkanger	2	Melhus	28	157
2	Melhus	1	Trondheim	27	130
			Reisetid	275	
Rute 3					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Trondheim	2	Oppdal	109	296
2	Oppdal	3	Røros	137	159
3	Røros	1	Trondheim	107	52
			Reisetid	353	
			Total reisetid	1028	

I ruten for Trøndelag har antallet ruter for de elektriske lastebilene blitt redusert fra fire til tre og inkluderer nå de resterende to rutene til Røros og Namsos. Disse er blitt lagt til i rute 1 (Namsos) og rute 3 (Røros). Denne reiseruten har en total reisetid på 17 timer og åtte minutter hvor rute en er i grenseland på batterikapasiteten sin ved avsluttet tur. Denne løsningen reduserer den totale reisetiden i forhold til alternativ 1 med seks timer og 24 minutter.

### Møre og Romsdal

Rute 1					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Ålesund	2	Sykkylven	43	362
2	Sykkylven	3	Ørsta	58	304
3	Ørsta	4	Volda	11	293
4	Volda	5	Fosnavåg	46	247
5	Fosnavåg	6	Ulsteinvik	31	216
6	Ulsteinvik	1	Ålesund	95	121
			Reisetid	284	
Rute 2					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Ålesund	2	Åndalsnes	96	309
2	Åndalsnes	3	Molde	73	236
3	Molde	1	Ålesund	81	155
			Reisetid	250	
Rute 3					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Ålesund	2	Kristiansund	147	258
2	Kristiansund	3	Sunnalsøra	89	169
3	Sunnalsøra	1	Ålesund	158	11
			Reisetid	394	
			Total reisetid	928	

Møre og Romsdal er den eneste ruten som beholder samme antall ruter som alternativ 1. Løsningen her ble å slå sammen rute en og to fra alternativ 1, beholde ruten mellom Ålesund – Molde og lage en ny rute for stedene som uteble (Kristiansund og Sunndalsøra). Den nye rute 3 vil kun ha elleve minutter med batterikapasitet igjen ved endt rute. Den totale reisetiden for rutene ble 15 timer og 28 minutter, det er en forbedring mot alternativ 1 på fem timer og 51 minutter.

## Vestland

Rute 1					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Bergen	2	Osøyro	38	367
2	Osøyro	6	Lonevåg	55	312
6	Lonevåg	5	Knarvik	48	264
5	Knarvik	3	Straume	40	224
3	Straume	4	Askøy	30	194
4	Askøy	1	Bergen	33	161
			Reisetid	244	
Rute 2					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Bergen	2	Vossevangen	95	310
2	Vossevangen	4	Kinsarvik	47	263
4	Kinsarvik	3	Øystese	66	197
3	Øystese	1	Bergen	84	113
			Reisetid	292	
Rute 3					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Bergen	4	Leirvik	96	309
4	Leirvik	3	Rosendal	73	236
3	Rosendal	2	Odda	58	178
2	Odda	1	Bergen	145	33
			Reisetid	372	
			Total reisetid	908	

I Vestland ser vi en endring fra fem til tre ruter. Ved å øke batterikapasiteten forsvinner problemet fra alternativ 1 om avstandene til Bergen og Rosendal, Odda, Kinsarvik som nå kan inkluderes i rundturer. Odda som var den eneste som ikke kunne nås kjøres nå på samme rute som Rosendal. Knarvik blir lagt til på alternativ 1 sin rute 1 (Vossevangen og Øystese) og danner nå rute 2 i denne løsningen. Her er det rute 3 som vil ha minst batterikapasitet igjen etter endt rute med bare 33 minutter til gode. Total reisetid på denne ruten er 15 timer og åtte minutter noe som er en forbedring på ni timer og 23 minutter fra alternativ 1.

## Rogaland

Rute 1					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Stavanger	3	Ålgård	28	377
3	Ålgård	6	Hauge	70	307
6	Hauge	5	Moi	39	268
5	Moi	4	Egersund	43	225
4	Egersund	2	Bryne	54	171
2	Bryne	1	Stavanger	34	137
			Reisetid	268	
Rute 2					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Stavanger	4	Sauda	153	252
4	Sauda	3	Sand	51	201
3	Sand	2	Tau	99	102
2	Tau	1	Stavanger	28	74
			Reisetid	331	
Rute 3					
Nr	Fra	Nr	Til	Tid	Ladestopp
1	Stavanger	4	Åkrehamn	90	315
4	Åkrehamn	3	Haugesund	30	285
3	Haugesund	5	Vikedal	59	226
5	Åkrehamn	2	Aksdal	38	188
2	Aksdal	1	Stavanger	81	107
			Reisetid	298	
			Total reisetid	897	

Den siste løsningen i denne oppgaven er Rogaland sin kjørerute. Antall ruter reduseres fra fire til tre og alle tettstedene kan besøkes med økt batterikapasitet. Sauda ble inkludert på rute to i lag med tettstedene Sand og Tau og er den lengste ruten i Rogaland. Ruten til Vikedal er også blitt inkludert i lag med Haugesund / Åkrehamn / Aksdal. Total reisetid blir 14 timer og 57 minutter noe som er en forbedring på seks timer og 36 minutter fra alternativ 1.

## 7.0 Oppsummering og sammenligning av resultat

I denne oppgaven har jeg sett på flere mulige løsninger av et TSP problem for ruter i Norge. Avslutningsvis kan man se på en prosentvis endring i de forskjellige modellene.

Distrikt	Tid	Prosentvis endring	Distrikt	Tid	Prosentvis endring
<b>Trøndelag</b>			<b>Vestland</b>		
Full TSP	885		Full TSP	596	
2 ruter	901	2 %	2 ruter	718	20 %
Ingen ladestopp	1412		Ingen ladestopp	1471	
Fra Full TSP		60 %	Fra Full TSP		147 %
Fra 2 ruter		57 %	Fra 2 ruter		105 %
Ingen ladestopp (50%)	1028		Ingen ladestopp (50%)	908	
Fra full TSP		16 %	Fra full TSP		52 %
Fra 2 ruter		14 %	Fra 2 ruter		26 %
Fra ingen ladestopp		-27 %	Fra ingen ladestopp		-38 %
<b>Møre og Romsdal</b>			<b>Rogaland</b>		
Full TSP	704		Full TSP	641	
2 ruter	750	7 %	2 ruter	684	7 %
Ingen ladestopp	1279		Ingen ladestopp	1293	
Fra Full TSP		82 %	Fra Full TSP		102 %
Fra 2 ruter		71 %	Fra 2 ruter		89 %
Ingen ladestopp (50%)	928		Ingen ladestopp (50%)	897	
Fra full TSP		32 %	Fra full TSP		40 %
Fra 2 ruter		24 %	Fra 2 ruter		31 %
Fra ingen ladestopp		-27 %	Fra ingen ladestopp		-31 %

*Trøndelag* startet med en TSP som inkluderte 13 steder (inkl. startnoden Trondheim).

Denne rundturen tok 14 timer og 45 minutter å gjennomføre. Ved å dele denne ruten opp i to økte den totale tiden en slik runde ville tatt med 2%, men reduserte antall ladestopp fra 3 til 2.

Når anledning for å lade langs reiseruten ble fjernet økte reisetiden betraktelig. En reiserute som ikke tillater å lade langs veien øker reisetiden med 60% mot den fulle TSP-modellen sin tid og med 57% fra løsningen om å kjøre to ruter. Mye av forklaringen i den økte reisetiden ligger i at enkelte lokasjoner kan ikke nås med elektriske lastebiler p.g.a begrensningen på batterikapasiteten. I slike tilfeller må en bedrift benytte seg av andre lastebiler som tradisjonelle dieseldrevet lastebiler eller ved hjelp av andre miljøvennlige drivstoffkilder hvis dette er tilgjengelig.

Siden det er rimelig å se for seg at denne teknologien vil forbedre seg med årene så jeg også på en løsning som økte batterikapasiteten med 50%. Med denne løsningen ble den totale reisetiden økt fra den fulle TSP-modellen og 2 ruter med henholdsvis 16% og 14%

mens den reduserer antall tid brukt med 27% fra ingen ladestopp. Mye av tidsbesparelsen kan beskrives ved at vi kan inkludere de isolerte rutene med de andre.

*Vestland* går fra å være den korteste ruten når alle tettstedene er inkludert til å bli den lengste. Ved å dele reiseruten inn i to øker tiden med 20% men reduserte antall ladestopp fra to til ett og ved å ikke tillate noen ladestopp langs ruten øker den henholdsvis med 147% og 105% i forhold til den fulle TSP-modellen og to ruter. Øker vi batterikapasiteten med 50% får vi en økning på 40% mot full TSP-modell og 26% mot to ruter. Det blir en reduksjon i tiden på 38% fra ingen ladestopp.

*Møre og Romsdal / Rogaland* får ikke så veldig ulik økninger og reduksjoner. Fra den fulle TSP-modellen til to ruter har begge distriktene lik økning på 7%, hvor Møre og Romsdal må lade to ganger. Rogaland får redusert sine stopp fra to til ett.

I modellen uten ladestopp øker Rogaland med 20% mer en Møre og Romsdal (102% mot 82%) i forhold til full TSP-modell og 18% mer i forhold til 2 ruter-modellen (89% mot 71%). Når batterikapasiteten øker med 50% øker det totale tidsforbruket for Møre og Romsdal med 32% fra den fulle TSP-modellen og 24% fra to ruter-modellen. Rogaland øker med 40% og 31%. Til slutt får begge en reduksjon i forhold til ingen ladestopp-modellen på 4 og en halv time med 27- og 31%.

Total	Gjennomsnitt
Full TSP	
2 ruter	9 %
Ingen ladestopp	
Fra Full TSP	97 %
Fra 2 ruter	80 %
Ingen ladestopp (50%)	
Fra full TSP	35 %
Fra 2 ruter	24 %
Fra ingen ladestopp	-31 %

I gjennomsnitt øker tiden for de fire distriktene med 9% mot en full TSP-modell når det kjøres to ruter. Uten anledning for å lade langs ruten er det en gjennomsnittlig økning på henholdsvis 97% og 80% fra full TSP og to ruter-modellene. For ingen ladestopp, men med 50% økning på batterikapasiteten brukes det i gjennomsnitt 35% lengre tid i forhold til den fulle TSP-modellen og 24% mot 2 ruter-modellen, det brukes i snitt 31% mindre tid i forhold til ingen ladestopp-modellen på fire og en halv time. Gjennom alle modellene er det Trøndelag som drar gjennomsnittene mest ned og Vestland drar snittet mest opp.



## 8.0 Diskusjon

Denne oppgaven har sett på en mulig fremtidig problemstilling angående hvor elektriske lastebiler kan lade på langdistanseturer til og i utvalgte regioner i Norge samt hvordan noen alternative ladefrie ruter kan se ut. I denne delen av oppgaven skal modellen diskuteres samt hvordan disse lastebilene kan håndtere norske veier, hvorfor disse lastebilene blir utviklet – og hvilke politiske påvirkninger som spiller inn.

### 8.1 Behovet for elektriske lastebiler og politisk påvirkning

Først og fremst er elektrifiseringen av alle fremkomstmidler langs veinettet ett av mange tiltak for å redusere CO<sub>2</sub>-fotavtrykket. Som nevnt tidligere i oppgaven står transport langs vei for størst andel av CO<sub>2</sub>-utslipp i transportbransjen. Det kan tenke seg at dette kan forandre på seg i fremtiden da det er ett stort fokus på å redusere avtrykket og av alle transportmetodene virker dette som en av de som er lettest å gjøre noe med, men det skal nevnes at andre transportsektorer gjør sine tiltak. Vi ser for eksempel ett synlig tiltak på sjøen med elektriske ferjer.

Nesten alle nye biler i Norge som selges nå er elektriske og bedrifter har begynt å følge etter og ser mot alternative drivstoff som biogass og elektriske transportmidler, selv om sistnevnte er bare å finne for kortere distanser hvis de skal være 100% elektriske. En typisk problemstilling som kan tenkes å oppstå er spørsmålet om kostnaden i å investere i ny teknologi vil oppveies av lønnsomheten av dem. Hva koster for eksempel en elektrisk lastebil sammenlignet med andre miljøvennlige lastebiler som bio-diesel? Hva er forventet levetid på batteriene og vil batterikapasiteten holde mål er bare noen av spørsmålene som må besvares før ett slikt innkjøp.

Behovet for elektrifisering og alternative drivstoff er også sentralt i politikken om å skape en bærekraftig verden. Dette må til for at bedrifter og privatpersoner skal begynne å tenke nytt. Et av de mest effektive politiske insentivene som brukes er avgifter og i transportsektoren er ikke dette ett unntak. Man kan se fysiske resultater av dette i form av bomstasjoner. For når det kommer til veitransport og miljøhensyn er bomstasjoner et effektivt virkemiddel og tillater per i dag at null-utslipp lastebiler får gratis passering. Et annet effektivt politiske virkemidlene er avgift på petroleum basert drivstoff som er en direkte økonomisk konsekvens for alle som bruker fremkomstmidler med bensin eller dieselforbruk.

Tiltak som oftest sees i bykjerner er begrensede tider på døgnet varebiler får lov å levere varer, dette er gjerne på tidspunkter der trafikkintensiteten ikke er høy som igjen fører til mindre kø-dannelse inn og ut av byene som igjen er med på å redusere CO<sub>2</sub>-utslipp. Når det kommer til å få bedrifter til å investere i null-utslipp kjøretøy vil gjerne ikke dette insentivet være bra nok alene. Elektrifisering av lastebiler vil trolig befinne seg i en introduksjons-fase nå og i denne fasen er det ofte kostbart å investere i ny teknologi og gjøres av ett fåtall innovatører, men de aktørene som velger å investere i denne teknologien kan oppleve ett konkurransefortrinn i form av å kunne tilby en bærekraftig og miljøvennlig transportmetode for bedrifter. Dette kan inngå i bedriftens samfunnsansvar og vise til en attraktiv og fremtidsrettet bedrift.

## 8.2 Modellene

I denne oppgaven har jeg brukt to modeller for å besvare forskningsspørsmålene. Den første skal finne lokasjoner som kan brukes for å lade på. Denne modellen kommer frem til løsninger som viste at de ville vært unøyaktig i forhold til forskningsspørsmålene på kortere turer. Ved å inkludere en tur til Tromsø ble modellen med en gang mer interessant å se på og man kunne finne en inndelt kjøreplan som står til forventet batterikapasitet. Selv her må man begrense antall lokasjoner noe som gjør at modellen fortsatt ikke kunne gi en helt tilfredsstillende løsning. Hadde Excel versjonen som er brukt tillat flere variabler kunne rutenettet blitt tilført langt flere noder som kunne gitt en mer presis indikasjon på spørsmålet.

Disse lastebilene er trolig heller ikke testet for norske veier som består av mye stigninger langs fjell som vil kreve mer energiutnyttelse. Ett annet problem som oppstår i forbindelse med dette er tap av fart. Å komme opp igjen i fartsgrensen på ett 40 – 60 tonns kjøretøy krever sin del av kapasiteten på batteriet. Tap av og vedlikehold av fart ved hjelp av økt bruk av gass og bremsepedalene skjer i mange situasjoner langs veien slik som på fjelloverganger nevnt ovenfor, men også ved kødannelse, veiarbeid med nedsatt fartsgrenser, smale veier med motgående trafikk og svinger. Siden den oppgitte tillate kjøretiden går i tråd med hviletidsbestemmelsene kan sjåførene i utgangspunktet planlegge langs veien hvor pausen skal utføres gitt at det finnes lademuligheter langs veien, men jeg vil likevel anbefale å planlegge en rute på slike strekninger. For å komme med ett eksempel kan man se på strekningen fra Geilo til Eidsfjord som går over Hardangervidda. På modellen er det beregnet en kjøretid på en time og 26 minutter.



Her viser modellen til at Geilo er det optimale stedet å stoppe for å lade selv om det i teorien skal være en time og syv minutter igjen av batterikapasiteten. Dette burde en ruteplanlegger legge seg til merke, spesielt om det viser seg at batterikapasiteten ikke holder mål og man må stoppe etter å ha kjørt opp på Hardangervidda og plutselig mangler ett sted å lade. Dermed er det ikke gitt at bilene *må* kjøre kapasiteten sin fullt ut.

Det kan også tenkes på disse lange distansene at bedrifter vil se på andre potensielle alternativer slik som lastebiler som kjører på biodiesel eller hybrider (hvis miljøvennlig drivstoff er et absoluttkrav) for å unngå slike problemer og heller bruke elektriske lastebiler på mer forutsigbare ruter med gode lademuligheter.

I den andre delen av oppgaven hvor det er tatt utgangspunkt i en TSP-modell kan elektriske lastebiler være ett fint alternativ. I regionale strøk kan det tenkes at det er bedre tilgang på lademuligheter hvis det viser seg at for eksempel bensinstasjoner som nå tilbyr lading til personbiler kan oppgradere til å tilby ladetjenester for lastebiler. Hvis dette ikke er tilfellet kan man se at det er fullt mulig å dele de opp i mindre ruter på bekostning av at de elektriske lastebilene ikke klarer å nå frem til enkelte destinasjoner.

I TSP var det mer rom for å lage ett rutenett i Excel-versjonen som er benyttet, men siden modellen ikke er basert på data fra en bestemt bedrift er den også noe unøyaktig da distansene her er basert på de største tettsteder i regionene. Det er derfor ikke angitt noen spesifikke start eller slutt punkt utover selve tettstedene.

Det er mange forskjellige grunner til å frakte varer og materialer rundt i ett distrikt på denne måten, men kanskje en av de mer intuitive ved å se på en slik rute er (men ikke begrenset til) dagligvarebransjen eller en retail kjede. Hvis dette var tilfellet, så kunne modellen fått en annen løsning.

For det første er det ikke nødvendigvis slik at alle stedene som er oppgitt er steder hvor en bedrift er etablert. Man vet heller ikke hvordan lademulighetene er i de forskjellige lokasjonene, selv om det er tatt forbehold om det i modellene. Igjen kan det også forekomme forskjellige utfordringer i regionene som ikke vises i en slik modell. Vestland kan bestå av mer fjellovergang og smalere veier enn for eksempel Møre og Romsdal som igjen er avhengig av flere ferjer. Er dette tilfellet så er det ikke umulig at en rute på Vestlandet trenger en ekstra ladestopp langs ruten for å veie opp for mer stigninger og innhenting av tapt fart eller en ekstra kjørerute.

TSP modellen tar altså kun hensyn til kjøretid og eventuelle fratrekke ved overfartstid. Modellen tar også utgangspunkt i at denne kjøreruten er tiltenkt en lastebil, eller flere som også inkluderer hviletid for sjåførene. I den originale ruteplanen for Vestland og Møre og

Romsdal er det behov for at bilene stopper opp så sjåførene får ta en døgnhvile. Hvis pris er det viktigste kriteriet ville det optimale være å la bilene lade over natten på bedriftens egne områder. Det ville krevd at ruten planlegges slik at når sjåføren må ta ut døgnhvilen sin så returnerer sjåføren til bedriftens hovedkontor/lager for så å kjøre ut igjen neste dag og fortsette på ruten. Uten å ha anledning til å vise til en kostnadsmodell for dette kan det tenkes at det samme prinsippet gjelder for lastebilene som for personbilene. Lading over lengre tid krever mindre energieffektivitet og koster dermed mindre. I tilfellene der sjåførene må ha døgnhvile hadde det også vært interessant å se på langsiktige kostnader forbundet med å la to lastebiler dele på strekningen slik at døgnhvilen forsvinner. Tiden som brukes på de forskjellige alternativene som er presentert i oppgaven varierer veldig og hvilken modell som kan benyttes kommer helt ann på hva en bedrift skal investere i. Det må tas hensyn til blant annet investeringskostnader, antall ruter, lønn til sjåførene, maks tonnkm og (hvis mulig) kostnader forbundet med å lade langs veien mot kostnadene forbundet med å lade på bedriftens eiendom.

## 9.0 Konklusjon

Oppgaven stilte spørsmål ved når elektriske lastebiler må lade langs de oppgitte rutene fra Oslo til fem byer i Norge og i distriktene rundt fire av disse ved å benytte to forskjellige modeller. Siden oppgaven baserer seg kun på en oppgitt maks tillat kjøretid begrenset av batterikapasitet samt noen regler angående hviletid vil nok virkeligheten være mer kompleks med tanke på geografiske utfordringer og sjåførens kjørestil.

Del en som tok for seg strekningen mellom Oslo og byene viste seg å være en dårlig modell for rutene som bare krevde ett ladestopp. I utgangspunktet kan sjåførene kjøre og ta ut sine obligatoriske pauser når det er behov for det siden strekningene kan deles opp i to like deler, men med tanke på at lastebilene faktisk må lade opp samtidig virket det interessant å sette opp en modell for å få en følelse av hvor bilene må lade. Modellen ga en mye bedre løsning på strekningen til Tromsø hvor det måtte inkluderes flere stopp langs kjøreruten. Det neste spørsmålet som dukker opp da er om det aktuelle stoppestedet har gode nok ladeløsninger for el-lastebiler. Siden dette ikke er noe som er utviklet enda, er ikke dette spørsmålet besvart i oppgaven. Dette er heller ikke et bestemt problem, men et konstruert problem med en modell som viser hvordan slike problemer kan løses.

Ved å ta i bruk TSP i del to kom jeg frem til mer tilfredsstillende løsninger. Selv om det i denne oppgaven bare er brukt noder som fører til byene og ikke til en mer bestemt lokasjon så gir dette fortsatt en god indikasjon på at en TPS-modell kan tas i bruk for å planlegge en mer nøye rute både for hovedoppgaven, men også for de alternative rutene. I denne modellen kunne jeg trekke ut mye nyttig informasjon som gjør ruten mer forutsigbar i forhold til hvilke strekninger som det må lokaliseres ladestopp på og regelverk om hviletid per døgn og uke(r).

Hva en endelig løsning blir i fremtiden vedrørende lademuligheter og investeringskostnadene for slike lastebiler gjenstår å se. I disse TSP-modellene så man en klar økning i kjøretiden alt etter hvilken løsning som ble tatt i bruk bortsett fra hvis batterikapasiteten økte med 50%. Da vil tiden forbedres med 31% i forhold til samme modell som kun kan kjøre i fire og en halv time. I et slikt tilfelle vil nok spørsmålet om en ny investering og lønnsomhet kunne vurderes på nytt.

## 10.0 Referanser

- Brundtland, G. (1987). Brundtlandrapporten. I G. H. Brundtland, & O. Dahl, *Vår felles framtid* (s. 42). Oslo: Tiden norsk forlag.
- Engedal, M. I., & Bothner, T. M. (2021, November 17). *Statistisk sentralbyrå*. Hentet fra ssb.no: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/forurensning-og-klima/artikler/transportutslipp-pavirkes-av-korona-elbiler-og-biodrivstoff>
- European Commission . (2020, Juli 08). *European Commission*. Hentet fra ec.europa.eu: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_20\\_1259](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_1259)
- European Commission. (2001, Juli 18). *Webområde for European Comission*. Hentet fra Webområde for European Comission: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/DOC\\_01\\_9](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/DOC_01_9)
- European Commission. (2020). *Powering a climate-neutral economy: An EU Strategy for Energy System Integration*. Brussel: European Commission.
- Hoff, A. (2021). *Distribution Planning. Some examples. Kompendium i emnte LOG530*. Høgskolen i Molde.
- Klima- og miljødepartementet. (2020, 10 26). *Regjeringen.no*. Hentet fra Europeisk klimalov: <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2020/aug/european-climate-law/id2777460/>
- Klima- og miljødepartementet. (2021, 10 11). *Regjeringen.no*. Hentet fra EØS-avtalen om klima og miljø: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/eos-avtalen-og-miljo1/id2339794/>
- Lixin Tang, J. L. (2000). *A multiple traveling salesman problem model for hot rolling scheduling in Shanghai Baoshan Iron & Steel Complex*. European Journal of Operational Research.
- Lovdata. (2019, 21 06). *Lovdata.no*. Hentet fra Lov om offisiell statistikk og Statistisk sentralbyrå (statistikkloven): <https://lovdata.no/dokument/LTI/lov/2019-06-21-32>
- McKinnon, A. M. (2015). *Green Logistics 3rd Edition*. London, Philadelphia, New Delhi: Kogan Page.
- Miljødirektoratet. (2020, Januar 01). *Miljødirektoratet*. Hentet fra Klimakur 2030: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1625/m1625.pdf>
- Prentice, B. E., & Prokop, D. (2016). *Concepts of transportation economics*. Manitoba; Anchorage: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Ragsdale, C. (2008). *Managerial decision modeling, 6th edition*. Mason, OH: South Western Cengage Learning.
- Rodrigue, J.-P. (2020). *The Geography of Transport Systems, fifth edition*. Abingdon, Oxon ; New York, NY: Routledge.

- Scania. (2021, November 24). *Scania.com*. Hentet fra Scanias electrification roadmap: <https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/news/2021/Scanias-electrification-roadmap.html>
- Statens Vegvesen. (2021, Juni 16). *Regelverk for kjøre- og hviletid*. Hentet fra Webområde for Statens Vegvesen: <https://www.vegvesen.no/kjoretoy/yrkestransport/kjore-og-hviletid/regelverk/>
- Statistisk sentralbyrå. (2022, Januar 27). *Webområde for Statistisk sentralbyrå*. Hentet fra <https://www.ssb.no/transport-og-reiseliv/landtransport/statistikk/innenlandsk-transport>
- Stensaas, M., & Stakkestad, K. (2021, 11 15). *fn.no*. Hentet fra FN-sambandet: <https://www.fn.no/nyheter/cop26-her-er-alt-om-aarets-klimatoppmoete>
- Stortinget. (2021, November 09). *Stortinget*. Hentet fra stortinget.no: <https://www.stortinget.no/no/Stortinget-og-demokratiet/Arbeidet/EUEOS-arbeid/>
- The World Bank. (2022, Januar 27). *Webområdet for The World Bank*. Hentet fra <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview#1>
- Winston, W. L. (2018). *Practical Management Science*. South-Western College Publishing.