



Transportøkonomisk institutt  
Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning



# Varebiler i bylogistikk - omfang og metodiske utfordringer

Oslo som case

Inger Beate Hovi, Christian Steinsland, Bo Dong,  
Øyvind Lothe Brunstad, Berit Grue

1989/2023



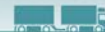
Tittel:	Varebiler i bylogistikk - omfang og metodiske utfordringer - Oslo som case
Tittel engelsk:	Challenges in modelling distribution routes for vans in urban logistics - An application for Oslo
Forfatter:	Inger Beate Hovi, Christian Steinsland, Bo Dong, Øyvind Lothe Brunstad, Berit Grue
Dato:	11.2023
TØI-rapport:	1989/2023
Antall sider:	57
ISSN elektronisk:	2535-5104
ISBN elektronisk:	978-82-480-2055-4
Oppdragsgivers p.nr.:	F. eks. NFR + prosjektnummer, skill med komma
Finansieringskilder:	Statens vegvesen
TØIs p.nr.:	5180 og 5181
Prosjektleder:	Inger Beate Hovi
Kvalitetsansvarlig:	Kjell Werner Johansen
Fagfelt:	Næringsøkonomi og godstransport
Emneord:	Varebiler, Kjøretøymatriser, Mobile tjenesteytere, Distribusjonsruter

## Kort sammendrag

Kjøring med varebiler er mangelfullt representert i dagens transportmodellsystem. Dette medfører at modellene i sum underestimerer det nasjonale trafikkarbeidet med 14 %. Varebiler brukes både til person- og godstransport, særlig i og rundt de store byene. Rapporten dokumenterer arbeid med etablering av en varebilmatrise for Oslo og Akershus. Kalibreringsgrunnlaget er passeringdata for varebiler fra Oslos bomringsystem. Rapporten inkluderer også metodeutvikling knyttet til modellering av distribusjonsruter. Utgangspunktet er ruteoptimalisering av leveringsposisjoner avledet av GPS-data fra varebiler som benyttes til distribusjonskjøring i Oslo og Akershus. De optimerte rutene er så validert mot observerte distribusjonsruter. Metoden klarer til en viss grad å rekonstruere de observerte rutene, men sjåførens veivalg er sjelden basert på raskeste eller korteste rute fram til distribusjonsområdet.

## Summary

The representation of vans is deficient in today's transportation model system in Norway, resulting in a 14% underestimation of the overall traffic volume for Norway. Vans are used for both passenger and freight transport, especially in and around major cities. The report documents efforts to establish a vehicle matrix for vans in Oslo and Akershus. The calibration basis relies on passing data from vans in Oslo's toll system. The report also includes the development of methodology related to modeling distribution routes. The starting point is the delivery positions derived from GPS data from vans used for distribution in Oslo and Akershus. The optimized routes are then validated against observed distribution routes. The method can reconstruct the observed routes to some extent, but the driver's route choice is rarely based on the fastest or shortest route to the distribution area.



# Forord

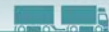
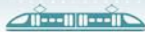
For å øke kompetansenivået om varebiler og mobile tjenesteytere, har Statens vegvesen og PROSAM gitt Transportøkonomisk institutt i oppdrag å etablere en varebilmatrise for Oslo og Akershus, samt å utvikle et metodisk grunnlag for å inkludere distribusjon med varebiler i urbane godsmodeller. Arbeidet er basert på data fra den regionale persontransportmodellen for Oslo og Akershus, samt GPS-data fra varebiler som benyttes til distribusjon av varer i dette området. Oppdragsgivers kontaktpersoner har vært Oskar Kleven i Statens vegvesen og Are Sturød i PROSAM.

Arbeidet ved TØI har vært ledet av Inger Beate Hovi. Arbeid med map-matching er utført av Øyvind Lothe Brunstad og Bo Dong, hovedsakelig basert på en algoritme under utvikling ved TØI (ledes av Christian Weber). Dong har også jobbet med utvikling og uttesting av ruteoptimering og hvordan optimalt rutevalg overensstemmer med observerte ruter fra map-matchingen, samt utarbeidet forslag til hvordan varebiler kan modelleres i en urban godsmodell. Berit Grue har undersøkt i hvilken grad varebiler og mobile tjenesteytere er representert i den nasjonale reisevaneundersøkelsen, mens Christian Steinsland har utarbeidet varebilmatrisen til bruk i RTM. Hovi har fulgt hele arbeidet og har hatt redaktøransvaret for rapporten. Avdelingsleder Kjell Werner Johansen har hatt kvalitetssikringsansvaret, mens administrasjonskonsulent Trude Kvalsvik har klargjort rapporten for publisering.

Oslo, november 2023  
Transportøkonomisk institutt

Bjørne Grimsrud  
Administrerende direktør

Kjell W. Johansen  
Avdelingsleder



# Innhold

## Sammendrag

<b>1</b>	<b>Innledning.....</b>	<b>1</b>
1.1	Bakgrunn .....	1
1.2	Kunnskapsbehov .....	2
1.3	Behov for lokale godsmodeller? .....	3
1.4	Ordforklaring.....	4
1.5	Rapportstruktur .....	4
<b>2</b>	<b>Datagrunnlag og metodevalg.....</b>	<b>5</b>
2.1	Data.....	5
2.2	Metodevalg for analysene .....	6
2.3	Alternative soneinndelinger .....	9
<b>3</b>	<b>Distribusjonsruter .....</b>	<b>13</b>
3.1	Distribusjonsruter basert på GPS-data .....	13
3.2	Distribusjonsruter basert på ruteoptimering.....	16
3.3	Metodevalg til transportmodellering .....	20
<b>4</b>	<b>Mobile tjenesteytere i RVU 2018/19 .....</b>	<b>33</b>
4.1	Identifisering av mobile tjenesteytere.....	33
4.2	Trafikkarbeid, mobile tjenesteytere .....	34
<b>5</b>	<b>Varebilmatrise .....</b>	<b>36</b>
5.1	RTM23+ og Tramod_by.....	36
5.2	Bompasseringsdata.....	37
5.3	Turmatrise.....	37
5.4	Anbefalinger om bruk .....	43
5.5	Transportytelser.....	43
<b>6</b>	<b>Erfaringer og diskusjon .....</b>	<b>47</b>
6.1	Konklusjon.....	47
6.2	Diskusjon.....	48
6.3	Videre forskning.....	48
	<b>Referanser .....</b>	<b>49</b>
	<b>Vedlegg.....</b>	<b>50</b>
	Vedlegg 1. Byområdene i RVU 2018/19 .....	50
	Vedlegg 2. Resultater fra map-matching.....	51
	Vedlegg 3. MILP modell.....	56

# Varebiler i bylogistikk - omfang og metodiske utfordringer

## Oslo som case

TØI rapport 1989/2023 • Forfattere: Inger Beate Hovi, Christian Steinsland, Bo Dong, Øyvind Lothe Brunstad, Berit Grue • Oslo 2023 • 57 sider

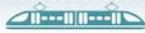
- Varebiler generelt, og mobile tjenesteytere spesielt, er transportsegmenter der kunnskapsnivået har vært begrenset. Dette skyldes mangel på detaljerte data og at transportsegmentet faller innenfor både person- og godstransport.
- Transportmodellene representerer i begrenset grad kjøring med varebiler, og underestimerer dermed trafikkarbeidet på veg sammenliknet med nasjonal statistikk
- I prosjektet er det etablert en varebilmatrise for Oslo og Akershus. Turmatrisen er basert på reiseetterspørselsmatriser fra den regionale persontransportmodellen for Oslo og Akershus og turmatriser generert fra GPS-data for varebildistribusjon. Matrisen er kalibrert mot passeringsdata for varebiler i Oslos bomringsystem.
- Vi har også testet metodiske utfordringer knyttet til modellering av distribusjonsruter ved å anvende ruteoptimalisering i Oslo og Akershus.
- De optimerte rutene er validert mot observerte distribusjonsruter. Vi klarer til en viss grad å rekonstruere de observerte rutene, men sjåførens veivalg er sjelden basert på raskeste eller korteste rute fram til distribusjonsområdet.

## Bakgrunn

Transportmodellsystemet for person og gods underestimerer det totale trafikkarbeidet på veg med ca 14 prosent sammenliknet med SSBs kjørelengdestatistikk. Dette skyldes at persontransportmodellene i hovedsak er kalibrert mot reiseaktiviteten som omfattes av den nasjonale reisevaneundersøkelsen (RVU), med en videre kalibrering mot tellinger for lette biler, mens godstransportmodellen er på sin side kalibrert mot trafikkarbeidet for lastebiler.

Trafikkarbeidet utført av små godsbiler, hvorav varebiler er den dominerende part, utgjør om lag 20 % av trafikkarbeidet (målt i km) med personbiler, men hele fire ganger trafikkarbeidet til lastebiler (Flotve og Farstad, 2022). Selv om varebilene står for fire ganger så stort trafikkarbeid som lastebilene, utgjør de bare 3 % av transportarbeidet (målt i tonnkilometer) som utføres med lastebilene. En andel av varebiltrafikken utføres av «mobile tjenesteytere», dvs. håndverkere, ulike servicevirksomheter etc., hvor varetransport ikke er det primære formålet.

For varebiler er m.a.o. trafikkarbeidet mye viktigere enn transportarbeidet, men er også mer utfordrende å modellere, fordi leveringsrekkefølgen har konsekvenser for utkjørt distanse.



Formålet med denne rapporten har vært hvordan varebiler kan bli bedre representert i transportmodeller. Arbeidet har ulike innfallsvinkler, der vi på den ene siden undersøker i hvilken grad varebiler og mobile tjenesteytere er representert i reisevaneundersøkelsen, og på den andre siden utforsker hvordan godstransport med varebiler kan implementeres i modeller for bylogistikk. Det er også utarbeidet en varebilmatrise for bruk i RTM23+ (den regionale persontransportmodellen for Oslo og Akershus).

## Identifisering av distribusjonsruter

Distribusjon er ett av tre hovedbruksområder for varebiler. De to andre bruksområdene er ifølge SSBs varebilundersøkelse, håndverker- og servicetransporter og privat kjøring. Det vil si at en ikke-ubetydelig del av kjøringen med varebil er persontransport. Håndverkere og servicearbeidere bruker gjerne varebilene som en utvidet verktøykasse, mens godsdistribusjonen med varebiler hovedsakelig er i by for små og lette sendinger og gjerne over kortere distanser.

### Map-matching

Med utgangspunkt i GPS-data innsamlet i LIMCO (Hovi m fl, 2021), har det vært ønskelig å etablere en metodikk for å kartlegge og identifisere mønstre i distribusjonskjøringen med varebiler, begrenset til Oslo og (tidligere) Akershus fylke, samt utkjørt distanse for distribusjonsruter.

I LIMCO ble utkjørt distanse beregnet vha Haversine-formelen, men utfordringen er at denne beregner luftlinjen mellom hver observasjon uten å fange opp kurvatur i vegnettet. Resultatet er at fysisk utkjørt distanse underestimeres. Det var derfor ønskelig å bruke map-matching til å identifisere distribusjonsmønsteret og dermed gi mer presise estimater på utkjørt distanse. Map-matchingen som benyttes her tar utgangspunkt i et Python-bibliotek kalt «Road System Energy and Emission Model» (Roseem), som er under utvikling ved TØI (Weber, 2023).

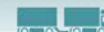
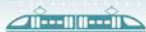
Det er utført map-matching av 11 utvalgte ruter. Basert på et vektet snitt, resulterte map-matchingsalgoritmen i 15% lengre distanse enn Haversine-distansen beregnet i LIMCO. Det er metodiske utfordringer også knyttet til map-matching, slik at resultatene må tolkes med varsomhet.

### Ruteoptimalisering

Map-matching og ruteoptimering gir innsikt både i faktiske og optimerte kjøremønstre. Mens map-matching illustrerer faktiske valg basert på observerte data, fokuserer ruteoptimalisering på effektivitet og tilpasning til bedriftens leveranser.

Optimalisering av rute, basert på sted for start og stopp av ruten, samt leveringssteder underveis identifisert fra GPS-koordinater, resulterte i variasjoner i kjøremønstre fra observert rute. Mens de observerte rutene reflekterer faktiske kjøreforhold som følger av trafikforhold, gir de optimerte rutene en mer teoretisk tilnærming. Ved å sammenligne beregnet distanse mellom de to tilnærmingene, og under ulike forutsetninger om tidsvindu for levering, finner vi også stor variasjon innen samme rute avhengig av størrelse på tidsvinduet. For de to rutene som vi sammenliknet dette for, fant vi i det ene tilfellet best overensstemmelse med trange tidsvinduer, mens den andre ruten ga best overensstemmelse med vide tidsvinduer. Dette kan skyldes at den ene ruten var til bedrifter (typisk stramme tidsvinduer), mens den andre var til husholdninger (typisk vide tidsvinduer).

For å utvikle en beregningsmessig håndterbar optimeringsmodell i VRPTW (Vehicle Routing Problem with Time Windows), inndelte vi rutene i klynger basert på geografisk mellom kunder/leveringssteder. Basert på klyngene ble rutene inndelt i tre etapper for nærmere



analyse: 1) fra terminal til leveringsområdet, 2) distribusjon innen leveringsområdet og 3) fra leveringsområdet tilbake til terminal. For hver klynge ble det utført ruteoptimalisering ved hjelp av optimeringsolveren OSRM<sup>1</sup> (Open Source Routing Machine), og studerte i hvilken grad de optimaliserte rutene samsvarte med de faktiske rutene. I et ideelt scenario vil optimalisering gi nøyaktige forutsigelser, men virkeligheten inneholder mange uforutsigbare variabler som reflekterer kompleksiteten i bylogistikk.

For hver av de tre over nevnte etapper ble det beregnet overlappingsprosent for evaluering av samsvar mellom optimalisert og observert rute. Generelt fant vi stor variasjon i overlapp, noe som også varierte sterkt med hensyn på hvilke etappe som ble studert. Relativt sett var det større grad av overlapp for etappe 1 og 3 (tilbringertransport til distribusjonsområdet), sammenlignet med etappe 2, noe som reflekterer større grad av samsvar ved simulering av tilbringertransport enn den detaljerte distribusjonsruten. Den relativt sett lavere overlappingsprosenten for etappe 2, som representerer distribusjonen innen leveringsregionene, understreker kompleksiteten i bylogistikk og behovet for en kombinert tilnærming hvor (sanntids) data om trafikkinformasjon brukes til å forbedre nøyaktigheten av den teoretiske urbane optimeringsmodellen. Ved å kombinere flere metoder og tilnærminger, kan man oppnå en mer nøyaktig og robust løsning som tar hensyn til både teoretiske og praktiske aspekter i logistikkplanlegging.

## Identifisering av mobile tjenesteytere

Tjenestereisene utgjør en relativt liten del av de daglige reisene, og har dermed få observasjoner i RVU. I den nasjonale reisevaneundersøkelsen (RVU) fra 2018/19 utgjorde disse reisene 3 prosent av alle daglige reiser og 3,4 prosent av bilførernes reiser.

Reiser hvor formålet er mobil tjenesteyting er en underkategori av tjenestereisene. Mobil tjenesteyting utgjør 25 prosent av tjenestereisene og 31 prosent av tjenestereisene som utføres med bil. Bilandelene er høye for tjenestereiser, og spesielt for mobile tjenesteytere.

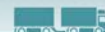
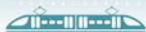
Av alle yrkesaktive i RVU 2018/19, hadde 1 prosent registrert én eller flere reiser som mobil tjenesteyter og bilfører, noe som representerer trafikkarbeidet med bil. Andelen mobile tjenesteytere totalt er noe høyere, da en del mobile tjenesteytere reiser som passasjerer i bilene, kollektivt, til fots eller på andre måter, eller av ulike grunner ikke reiste med tjenesteformål på registreringsdagen.

Gjennomsnittlig samlet kjørelengde pr dag var 23 km for alle bilførere, men hele 123 km for de mobile tjenesteytere. Avgrenses materialet til reisekjedene hvor mobil tjenesteyting inngår, er gjennomsnittlig reiselengde 113 km pr dag. Disse bilturene utgjør nærmere 4 prosent av samlet trafikkarbeid med bil i RVU. Tar vi med alle bilturer utført av mobile tjenesteyterne uansett type reisekjede, blir andelen noe høyere.

Generelt ser det ut til at anslagene for mobile tjenesteytere er underrapportert i RVU. Mulige årsaker til underrapportering skyldes at grupper med lavere utdanning generelt er underrepresentert i RVU. En annen mulig årsak kan være underrapportering av arbeids- og tjenestereiser for grupper som kjører mange slike turer hver dag.

---

<sup>1</sup> OSRM er en ruteberegningmotor designet spesifikt for veinett, og er tilgjengelig på [GitHub](https://github.com).



## Varebilmatrise

Det er etablert en varebilmatrise til bruk i transportmodellen RTM23+. Varebilmatrisene er etablert med utgangspunkt i reiseetterspørselsmodellen Tramod\_by og turmatriser for Oslo og Akershus basert på GPS-data for varebiler som er beskrevet over. Varebilmatrisen er kalibrert til å treffe bompasseringsstatistikken fra Oslo bomsystem, og skal således inneholde alle varebiler. Matrisen gir bra samsvar mot kalibreringsgrunnlaget på aggregert nivå, og rimelig bra samsvar med kalibreringsgrunnlaget for de fleste bomstasjonene (detaljert nivå). Det er utarbeidet matriser både i og utenfor rushtid og fordelt på virkedøgn- og helgedøgntrafikk.

Vi har også forsøkt å identifisere bilturer med varebil basert på RVU, og finner ved å nettle utlegge denne, at andelen varebiler som passerer bomringene i dette grunnlaget genererer en mindre andel av passeringene enn det bompasseringsdataene viser. Det er vanskelig å vurdere i hvilken grad dette skyldes om det er antall turer som er underrapportert eller om det skyldes at turer med varebil er kategorisert som turer med annet kjøretøy (f.eks. kombibiler, som i RVU består av stasjonsvogner, flerbruksbiler og kombinerte biler).

Hvor mye av varebiltrafikken som dekkes i RVU er vanskelig å vurdere, men som et grovt, første anslag anbefaler vi at varebilmatrisen nedjusteres med 50 % før den brukes i RTM, fordi noe varebilkjøring inngår i RVU og er derfor allerede representert i RTM for Oslo og Akershus.

## Videre arbeid

Oppdragsgiver har ytret ønske om å etablere varebilmatriser for andre byområder. For at dette skal være mulig, er datatilgjengeligheten essensiell. Dette gjelder både data om turproduksjon, men valideringsdata er minst like viktige. I dette prosjektet har vi hatt tilgang til valideringsdata om varebiler fra bomsystemet i Oslo. Om tilsvarende informasjon finnes for bomstasjoner i de øvrige byområdene, og GPS-koordinatene i tillegg gir turinformasjon om distribusjonskjøring i området, vil det være mulig å etablere varebilmatriser basert på tilsvarende metodikk som beskrevet i denne rapporten.

Statens vegvesen og Samferdselsdepartementet planlegger å finansiere en ny varebilundersøkelse i 2025 for å lage statistikk som beskriver kjøremønsteret og godstransporten til norske varebiler og lastebiler med nyttelast under 3,5 tonn. Etter planen er det SSB som skal gjennomføre undersøkelsen. I tidligere undersøkelser har oppgavegiverne, rapportert nokså aggregerte data for en utvalgt uke. I den planlagte undersøkelsen for 2025 er det en målsetting å innsamle mer detaljerte data. SSB ønsker å tilby at oppgavegiverne skal kunne ta i bruk en mobilapplikasjon (app) som kan bidra til å automatisere store deler av databehovet i undersøkelsen. Målet er at sjåførene i kjøretøyene skal kunne installere appen på sin mobiltelefon og at kjøretøyets bevegelser spores slik at appen kan beregne distanse kjørt, samt eventuelle stopp underveis. For å redusere utfordringer rundt GDPR og sporingsdata, vil sporingsdata kunne aggregeres til postnummer eller grunnkrets. Dette vil gi et kjempeløft til datatilfanget om små godsbiler og kan danne et solid fundament for utvikling av transportmodeller for bylogistikk.

I påvente av data fra denne undersøkelsen, vil vi fortsette med metodeutvikling der målsettingen er å etablere modeller for urban logistikk. En helt essensiell suksessfaktor, i en slik modell, vil være modellering av distribusjonsruter som igjen er helt avgjørende for å kunne beregne trafikkarbeidet til ulike kjøretøykategorier i et byområde. Til nå har vi basert utviklingsarbeidet på GPS-data med ruteoptimeringsmodeller basert på observerte stoppesteder, og sammenliknet optimert rute med observert rute (basert på map-matching av GPS-data). For å ta dette et steg videre, bør man benytte faktiske sendingsdata for et område og for eksempel en dag, og så etablere modeller for tilfeldig genererte lokasjoner innenfor postnummersoner,





med clustering av forsendelser som leveres til samme områder og optimering av rutevalg, der rekkefølgen på leveransene bestemmes vha. f.eks. [OSRM](#).



# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Det nasjonale transportmodellsystemet består av Nasjonal persontransportmodell (NTM 6), fem regionale persontransportmodeller og Nasjonal godstransportmodell. Til sammen omfatter disse modellene det aller meste av trafikken på norske veier. Det er imidlertid enkelte bidrag som savnes i modellene, og som kan utgjøre vesentlige bidrag i enkelte områder. Slike bidrag tas gjerne inn som statiske turmatriser som legges til modellproduserte turer:

- For områder i grensetraktene er persontrafikk til og fra Sverige viktige bidrag som i utgangspunktet ikke omfattes av modellene siden modellene kun beregner etterspørsel mellom norske soner fra bosatte i Norge.
- Reiser til og fra norske flyplasser legges også til som en fast turmatriser. Flyreiser til og fra utlandet omfattes ikke av de norske persontransportmodellene, men delreiser til og fra norske flyplasser legges altså til som en fast turmatrise.
- Persontransportmodellene mangler en del trafikk fra de såkalte mobile tjenesteyterne. Dette kan typisk være håndverkere som snekkere, elektrikere og rørleggere som reiser til og fra oppdrag med bilen tidvis full av utstyr og materialer.
- Godsmodellen omfatter i hovedsak godstransport utført av lastebiler. Det er imidlertid også en del varedistribusjon utført av lette kjøretøy som ikke omfattes av godsmodellen.

Tabell 1.1 viser trafikkarbeid fra det nasjonale transportmodellsystemet (for basisår 2020), sammenstilt med SSBs kjørelengdestatistikk i 2019 (siste år før pandemien) og 2022.

Tabell 1.1: Trafikkarbeid i transportmodellsystemet og fra SSBs kjørelengdestatistikk ([SSBs statistikkbank tabell 12575](#)).

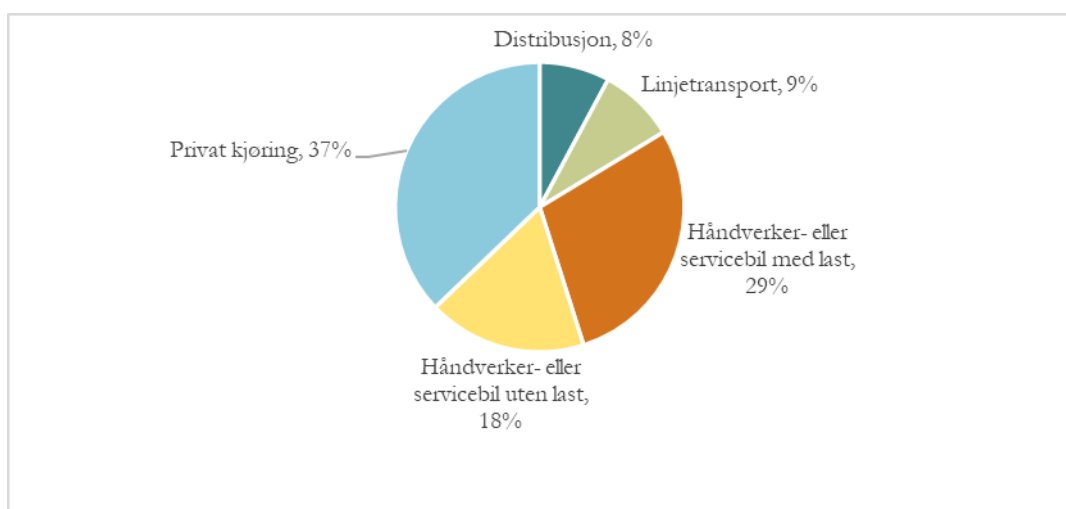
	Transportmodellene	SSB 2019	SSB 2022	Avvik (fra SSB 2022)
Personbil	35 979	35 504	35 310	2%
Buss	657	584	541	21%
Små godsbiler		7 393	7 462	-100%
Store godsbiler	2 216	2 082	2 091	6%
<b>SUM</b>	<b>38 852</b>	<b>45 563</b>	<b>45 404</b>	<b>-14%</b>

Transportmodellene skal inkludere all kjøring i Norge, mens kjørelengdestatistikken inkluderer all kjøring med *norskregistrerte* kjøretøy, uavhengig av om kjøringen er i eller utenfor Norge. Det framkommer at trafikkarbeidet for personbiler, buss og lastebiler er noe høyere i transportmodellene enn i kjørelengdestatistikken, mens det aller meste av kjøring med varebiler mangler helt i dagens modellsystem. I sum underestimeres trafikkarbeidet med 14 %. Da varebiler særlig brukes i og rundt de store byene, innebærer det at avviket er aller størst der.

Transportmodellsystemet for person og gods har med andre ord over tid gitt et underestimert trafikkarbeid for vegtransport sammenliknet med nasjonal statistikk. En årsak til dette er at persontransportmodellene i hovedsak er kalibrert mot den reiseaktiviteten som omfattes av den nasjonale reisevaneundersøkelsen (RVU), med en videre kalibrering mot tellinger for lette biler. Det resulterende trafikkarbeidet fra de regionale persontransportmodellene blir imidlertid lavere enn det SSB publiserer som trafikkarbeid for lette biler. Godstransportmodellen er på den annen side hovedsakelig kalibrert

mot transport- og trafikkarbeidet for lastebiler. Dette resulterer i at trafikkarbeidet for varebiler i stor grad faller utenfor alle modellene.

Trafikkarbeidet utført av små godsbiler<sup>2</sup>, hvorav varebiler er den dominerende part, er ikke ubetydelig og utgjør om lag 20 % av trafikkarbeidet (målt i km) med personbiler, men hele fire ganger trafikkarbeidet til lastebiler (Flotve og Farstad, 2022). Det er altså ingen ubetydelig restanse som enkelt lar seg integrere i en enkelt modell, men berører både gods- og persontransportmodellene: Problemstillingen er egentlig todelt: Dels skyldes underestimeringen at mobile tjenesteytere, og mer spesifikt; mobile tjenesteytere som kjører varebil, er dårlig representert i RVU, og dels skyldes det at trafikkarbeidet i godsmodellen genereres med utgangspunkt i beregnet transportarbeid. Selv om varebilene står for fire ganger så stort trafikkarbeid som lastebilene, utgjør de imidlertid bare 3 % av utført transportarbeid (målt i tonnkm) med lastebilene. Dette skyldes at det er de små og lette sendingene som fraktes med varebiler, at distribusjonen med varebiler hovedsakelig er i by, og i hovedsak er over korte distanser sammenliknet med hva som transporteres med lastebiler. Dessuten er en betydelig del av kjøringen med varebiler persontransport. Dette framkommer av Figur 1.1, som er basert på SSBs varebilundersøkelse fra 2018.



Figur 1.1. Fordeling av trafikkarbeidet med små godsbiler etter type kjøring i 2018. Kilde: [SSB.no, tabell 07293](#).

I følge SSBs varebilundersøkelse er bare 17 % av trafikkarbeidet med små godsbiler varetransport, mens 37 % er privat kjøring. Håndverker og servicetransporter står for hele 47 % av trafikkarbeidet, hvorav en drøy tredel er kjøring uten last.

## 1.2 Kunnskapsbehov

Kunnskapsbehovet om bylogistikk generelt og varebiltrafikk spesielt er uuttømmelig. SSBs varebilundersøkelse og lastebilundersøkelse er de eneste tilgjengelige datakilder om distribusjon i byene, men begge kilder har vesentlige mangler som vanskeliggjør analyser av distribusjonskjøring og med det virkemidler og måloppnåelser for bylogistikken. Derfor er det også få mål i bylogistikken som kan måles, utenom f.eks. elbilandeler av antall nyregistreringer eller som andel av antall passeringer i bomringen. I Oslo har f.eks. elektriske varebiler og lastebiler, samt lastebiler som kjører på biogass, takstfritak. Dette gjør at de

<sup>2</sup> SSBs varebilundersøkelse inkluderer transportytelser for godsbiler med nyttelast opp til 3,5 tonn. Dette inkluderer varebiler, kombinerte biler og lette lastebiler. Av disse utgjør varebiler den dominerende kjøretøygruppen.

har egne takstgrupper i bomringen og det er derfor er mulig å følge utviklingen. Se utviklingen for varebiler på [Klimabarometeret](#) under [KlimaOslo](#).

Godstransport har gjerne høyere kompleksitet enn persontransport, fordi det er mye større variasjoner i sendingstørrelse, krav til temperatur, fremføringstid og leveringsvinduer, enn det er for personreiser. Godsturer varierer med bransje, type vare og leveringskvalitet, og godsturgenerering i ulike bransjer øker med firmaets størrelse. Små firma tenderer til å produsere flere godsturer pr mengde gods enn større firma i samme bransje, fordi de har mindre godsgrunnlag å basere ruteplanlegging og distribusjonsruter på. Variabler som ofte brukes for planlegging og til å beregne forventet antall godsturer, er bransje, sysselsetting, omsetning, varetype og kvadratmeter bygning (Holguin-Veras mfl., 2012). Gods må løftes både på og av transportmidlet og kan ikke selv bytte transportform underveis. En konsekvens av alt dette er at det er stor variasjon i kjøretøystørrelser og bruksområder. For håndverkere og andre mobile tjenesteytere er bilen en redskapskasse, mens for godset er bilen en midlertidig lagerplass.

Felles for både nytte- og persontransport er at det krever veg- og gateareal, men for godstransport og håndverker-/servicetransport er det også essensielt at det er egnet areal til å parkere bilen i forbindelse med at varer skal leveres eller tjenester skal utføres.

Det er en rekke utfordringer som fører til et mer fragmentert transportbilde, som i stor grad også bidrar til mer trafikk. Eksempler på dette, er:

- Firma etablert på steder med høye kvadratmeterkostnader (eks. indre by) har høyere godsturproduksjon pr m<sup>2</sup> enn utenfor. For eksempel har restauranter og mange sentrumsbutikker ofte små lagerarealer, og krever derfor små, men hyppige leveranser (Grønland, 2008)
- Økt netthandel gir økende andel små sendinger og leveranser, særlig til boligområder
  - Mange nettbutikker tilbyr varer «fritt levert», noe som medfører at kunden bestiller varer mer ukritisk og som generer behov for returtransporter
  - Flere nettbutikker tilbyr også svært raske leveringer, gjerne samme dag innenfor noen få timer, noe som har medført at begrepet «last-second delivery» har oppstått, noe som gir mindre grunnlag for konsolidering og dermed bidrar til å øke trafikkarbeidet
- Økt outsourcing av (nye) servicefunksjoner, ikke minst gjelder dette i bedriftsmarkedet

Bykommuner fremhever at det er behov for økt datatilfang som øker kunnskapsgrunnlaget om næringstransport i by. Dette kan være informasjon om fordelingen mellom varelevering, håndverker-/servicetransport og privatkjøring, trafikkmengder og parkerings-/lossetider i gategrunn, og hvordan varebiltrafikken fordeler seg mellom riksveg og kommunal veg. Det er også ønske om regelmessige oppdateringer av slik informasjon.

Videre er det ønskelig med informasjon om fordelingen mellom firma- og privatregistrerte varebiler og om bruker av bilen for kjøretøy som er leaset. Det er også ønske om økt informasjon og sammenhenger mellom hvor bilene er registrert og hvor de kjører. Fordeling av kjøretøy etter drivstoff, som f.eks. elektrisk versus fossil og hvor og hvor langt de ulike kategoriene kjører. For batterielektriske biler er ladebehov sentralt, har bilene tilgang på depot- eller hjemmelading og hvor stort er behovet for hurtiglading? Er det daglig behov eller kun på langturer.

### 1.3 Behov for lokale godsmodeller?

I tillegg til selve databehovet er det også behov for å kunne modellere effekter av tiltak, reguleringer og avgiftspolitikker. Eksempler på dette er:

- Tiltak for kortere parkeringstid (fra bil til mottaker)
- Endret gateregulering (kjøremønster)
- Omfang og lokalisering av losseplasser

- Omlasting og terminaler
- Selvbetjente hentepunkt (pakkeautomater)
- Avgiftspolitik
- Fremkommelighetstiltak
- Regelverksendringer
- Etablering av ladepunkter

Mens den nasjonale godstransportmodellen i stor grad har fokus på transportarbeid og transportmiddelfordeling, er trafikkarbeidet desto mer viktig i bylogistikken. Trafikkarbeidet er imidlertid mer komplisert å modellere enn transportarbeidet, fordi rekkefølgen på leveringene i en distribusjonsrunde er førende for utkjørt distanse og hvilke veier som trafikkeres.

Formålet med denne rapporten har vært å undersøke hvordan mobile tjenesteytere og varebiler kan bli bedre representert i dagens transportmodeller. Arbeidet kan oppsummeres i følgende to punkter:

1. Teste metodiske utfordringer ved å modellere distribusjonsruter for varebildistribusjon, til en eventuell urban godsmodell
2. Etablere en varebilmatrise for Oslo og Akershus

Da varebiler utgjør den totalt dominerende kjøretøygruppen av små godsbiler (målt i trafikkarbeid), er analysene i denne rapporten avgrenset til å omfatte varebiler.

## 1.4 Ordforklaring

Begrep	Forklaring
GPS-data	Sporingsdata som inneholder informasjon om kjøretøyets plassering (oppgitt i koordinater) og tidsstempel for hvert koordinat.
Map-matching	Karttilpasning av GPS-data, der man ut fra koordinatinformasjonen som er tilgjengelig forsøker å tilpasse til hva som er mest sannsynlige rutevalg underveis.
Distribusjonsrute	Oftest en rundtur der start og stopp er i en terminal og der transportøren skal levere sendinger til en rekke kunder underveis. Man skiller gjerne mellom lokal og regional distribusjon
Tidsvindu	Ofte har kunden et krav til når de ønsker varen levert. Dette kan være et tidsintervall som varierer fra noen minutter til flere timer.
Ruteoptimering	Optimalisering av leveringsrekkefølgen i en distribusjonsrute ut fra kriterier om korteste distanse eller korteste kjøretid. Ruteoptimering bygger i stor grad på det kjente «Travelling Salesman» problemet
«Travelling salesman»-problemet	Eller handelsreisende-problemet, ble først problematisert i 1930, og er basert på følgende spørsmål: «Gitt en liste over byer og avstanden mellom byene, hva er den kortest mulige ruten som besøker hver by nøyaktig en gang og returnerer til opprinnelsesbyen?» Problemet er sentralt i teoretisk informatikk og operasjonsanalyse. I denne rapporten er problemstillingen benyttet innenfor Oslo.
RVU	Den nasjonale reisevaneundersøkelsen.
Mobile tjenesteytere	En kategori trafikanter som, er kjennetegnet av at de har yrker som krever reise fordi arbeidsoppgavene i hovedsak utføres for kunder/brukere/opplegsgivere på ulike adresser. Eksempler på dette er håndverkere, hjemmesykepleiere, teknikere som har vedlikeholdsavtaler på teknisk materiell, etc. I denne rapporten er vårt fokus avgrenset til mobile tjenesteytere som kjører varebil.

## 1.5 Rapportstruktur

Denne rapporten er strukturert i seks kapitler, inkludert dette innledningskapitlet. I kapittel 2 presenteres datagrunnlag og metodevalg. Kapittel 3 har fokus på distribusjonsruter, der vi sammenlikner med optimerte distribusjonsruter, basert på de samme leveringspunktene, som i en observert rute som er nettutlagt vha mapmatchingsalgoritmer. Kapitlet oppsummeres med en anbefaling om metodevalg for transportmodellering. I kapittel 4 gis en oversikt over de mobile tjenesteyterne i reisevaneundersøkelsen, mens kapittel 5 dokumenterer arbeidet med å utarbeide en varebilmatrise for Oslo og Akershus, samt datagrunnlaget som denne er basert på. Til sist, i kapittel 6, avslutter vi med oppsummeringer av erfaringer og diskusjon for videre arbeid.

## 2 Datagrunnlag og metodevalg

### 2.1 Data

#### 2.1.1 Varebilundersøkelsen (SSB, 2018)

Den mest detaljerte og tilgjengelige kilden til transportytelser for varebiler, er SSBs varebilundersøkelse. Dette er en skjemabasert utvalgsundersøkelse som utføres ca. hvert fjerde år. Siste undersøkelse er fra 2018. Undersøkelsen har oppgaveplikt for bedrifter, men er frivillig for privatpersoner. Oppgavegiver rapporterer all kjøring over en periode på en uke, men grunnlaget gir ingen informasjon om det underliggende turmønsteret. Det er derfor ikke mulig å avlede transportytelser for mer detaljerte områder eller analyser av f.eks. rutevalg enn det som er angitt i undersøkelsen. For Oslo gir undersøkelsen riktignok anslag på transportytelser i sum for Oslo og innenfor Ring 2, mens kjøring i hovedsak ellers er rapportert på fylkesnivå, samt spesifikt for de største byene og byområdene. Dette er avledet av oppgavegivers oppgitte fordeling av deres kjøring i ulike geografiske områder i tellingsuka.

Varebilundersøkelsen er en forenklet utvalgsundersøkelse og der bruttoutvalget utgjør ca. 12 000 biler av en totalpopulasjon på ca. 500 000 små godsbiler<sup>3</sup>, noe som gir en utvalgsprosent på 2,4 %. Det rapporteres inn antall turer i sum for rapporteringsuken og oppgis en grov fordeling av hvilke områder bilen har kjørt i tellingsuken. Undersøkelsen er for grov til å gi grunnlag for modellutvikling, men kan evt. danne et kalibreringsgrunnlag for hvor mye varebiler og ulike brukergrupper kjører i avgrensede områder (fylke er mest detaljerte nivå som dataene har en viss kvalitet). I denne rapporten er undersøkelsen benyttet til å validere varebilmatrisen, som utledes i kapittel 5, på et overordnet nivå.

#### 2.1.2 GPS-data

I [LIMCO](#) (Hovi m fl., 2021) ble det samlet inn data fra to ulike flåtestyringssystemer. Det ene systemet var basert på et fabrikkinstallert API for flåtestyring i nyere lastebiler, mens det andre var basert på en fysisk installert hardware i kjøretøyene. Sistnevnte system muliggjorde innsamling av GPS-data fra varebiler. I alt ble det i prosjektet innsamlet data fra ca. 250 varebiler over en periode på ca. 18 måneder. Dette er hovedsakelig varebiler benyttet til varelevering i byer og en analyse av bruksmønsteret til disse gir et erfaringsgrunnlag for videre utviklingsarbeid av varebiler i urbane godsmodeller. Dette gjelder særlig modellering av distribusjonsruter.

#### 2.1.3 Bompasseringsdata

Passeringsdata fra bomstasjonene vil kunne gi økt informasjon om bruksmønsteret til varebilene. Dette inkluderer informasjon fra ulike bomsnitt og informasjon om antall passeringer, fordeling etter drivlinje (diesel vs elektrisk), fordeling mellom ulike kjøretøytyper (personbil, varebil, buss, lastebil, annet), samt hvordan trafikkgrunnlaget fordeler seg over ukedager og tidspunkt på dagen.

I dette prosjektet har vi hatt tilgang til bompasseringsstatistikk for Oslos bomsystem som inkluderer detaljerte passeringstall på timesnivå for hver enkelt bomstasjon i Oslo for perioden 1. til 8. mars 2023. Passeringene er fordelt på ulike takstgrupper. Elektriske varebiler er en egen takstgruppe i Oslos bomsystem, og statistikken gir dermed verdifull innsikt i trafikkomfanget for elektriske varebiler.

---

<sup>3</sup> Undersøkelsen inkluderer varebiler, små lastebiler (med nyttelast under 3,5 tonn) og kombinertbiler. Både små lastebiler og kombinertbiler er en bilkategori som er i ferd med å utfases, og består i stor grad av eldre kjøretøy.

I tillegg til denne detaljerte statistikken har vi også hatt tilgang til aggregerte trafikk tall for november 2022 som består av antall passeringer i hver av de tre bomringene fordelt på kjøretøygrupper der varebiler er en egen gruppe.

Ved å kombinere den detaljerte statistikken for elektriske varebiler og den aggregerte statistikken for varebiler kan vi utlede grove anslag på antall varebiler som passerer hver enkelt bomstasjon pr virkedøgn. Dette gjøres ved å oppjustere passeringstallene for elektriske varebiler med en fast faktor for hver bomring slik at de i sum tilsvarer andel varebiler for gitt bomring.

### 2.1.4 Reisevaneundersøkelsen (RVU)

Datagrunnlaget fra den nasjonale reisevaneundersøkelsen, som ble gjennomført i 2018-2019, er fordelt på to hovedkategorier; Persondata (88 548 respondenter) og Daglige reiser (totalt 253 602 rapporterte reiser).

**Persondata** Utvalget som ble intervjuet i RVU 2018/19 består av personer bosatt i Norge som er 13 år eller eldre. Datagrunnlaget inneholder bakgrunnsopplysninger om intervjupersonen (IO), inkludert førerkortinnhav, husholdning, biltilgang med mer. Alle respondenter intervjues om disse bakgrunnsopplysningene uansett om de har reist eller ikke.

**Daglige reiser** Datamaterialet skal samlet sett gi et bilde av den daglige reisevirksomheten i Norge. Hver intervjuperson rapporterer sine reiser for ett enkelt reisedøgn. Dato for reiseregistreringen er tildelt på forhånd, og svarene skal til sammen for alle respondenter være representativ for reiseaktiviteten i Norge gjennom et år. Enhver forflytning utenfor egen eiendom skal regnes som en reise. Daglige reiser avgrenses og kodes ut fra formålet på bestemmelsesstedet, for eksempel arbeid, tjeneste, skole, besøk, innkjøp osv.

Data som er vesentlige for analysen som presenteres i kapittel 4, er klassifisering av reisemålet for bilførerne, samt om bilføreren kjørte varebil.

## 2.2 Metodevalg for analysene

### 2.2.1 Problematisering

Som nevnt i innledningen er trafikkarbeidet en mye viktigere parameter enn transportarbeidet for varebilene, men trafikkarbeidet er også mer utfordrende å modellere: Transportarbeidet beregnes som produktet av sendingsvekt og distanse mellom sted for lasting og sted for lossing, der den mest kompliserende faktor er rutevalget til transportøren. Ved modellering av trafikkarbeidet står man i tillegg overfor dilemmaet om hva som er korteste, eventuelt raskeste, rute for å levere et gitt antall forsendelser til ulike adresser/områder. Dette er det kjente Travelling Salesman<sup>4</sup>-problemet (TSP). Utkjørt distanse og transporttid vil avhenge av i hvilken rekkefølge sendingene leveres, mens krav til tidsvindu kan medføre at transportøren ikke kan levere sendingene i den mest optimale rekkefølgen.

Gitt datatilgjengeligheten slik den er beskrevet over, har vi benyttet GPS-data fra varebildistribusjon i Oslo som læringsgrunnlag for hvordan distribusjonsrutene faktisk utføres. Velges faktisk korteste rute, raskeste rute, eller er andre mønstre? Eksempler på andre mønstre, er at sjåføren får beskjed underveis om å plukke opp nye sendinger, eller at det må hensyntas at ulike sendinger har ulike tidsvinduer for levering. Utfordringen er at dette fort blir store og kompliserte analyser, der beslutningen som tas er spesifikt for de ulike transportører og/eller leverandører.

---

<sup>4</sup> [https://www.tutorialspoint.com/design\\_and\\_analysis\\_of\\_algorithms/design\\_and\\_analysis\\_of\\_algorithms\\_travelling\\_salesman\\_problem.htm](https://www.tutorialspoint.com/design_and_analysis_of_algorithms/design_and_analysis_of_algorithms_travelling_salesman_problem.htm)



## 2.2.2 GPS-data som grunnlag til å identifisere distribusjonsruter

GPS-dataene ble, som allerede nevnt, opprinnelig innhentet og bearbeidet i forbindelse med LIMCO-prosjektet (Hovi, Mjøsund, Bø, Pinchasik & Grønland, 2021). Opprinnelig inneholder dataene informasjon om kjøretøyets plassering (oppgitt i koordinater) og tidsstempel for hvert koordinat. I LIMCO-prosjektet ble det utarbeidet metodikk til å beregne stopptid, distanse og hastighet og med dette fordele kjøringen på ulike turer, tursegmenter og til å identifisere hvor bilene stoppet for (sannsynlig) levering eller henting og hvor lenge de stoppet. Haversine<sup>5</sup>-formelen ble benyttet til beregning av distanse mellom GPS-koordinatene oppgitt i datasettet (Hovi m.fl., 2021, Mjøsund og Hovi, 2022). Dette må tolkes som den korteste distansen mellom GPS-punktene på jordens overflate og ikke faktisk kjøredistanse. Hastigheten ble avledet av beregnet distanse og tidsbruk mellom hver GPS-observasjon, noe som følgelig gir underestimerte verdier både for distanse og for hastighet. Stopptiden ble beregnet fra når hastigheten var lavere enn 8 km/t. For å unngå tilfeller der den totale stopptiden blir brutt på grunn av unøyaktige posisjonsdata eller at kjøretøyet gjør små bevegelser innenfor samme laste-/losse-lokasjon, ble det innført en regel om at stopptiden, for leveranser i byområder, akkumuleres så lenge kjøretøyet holder seg innenfor en radius på 125 meter fra første stoppobservasjon. Ved stopptider over en time, ble den gjeldende turen ansett som avsluttet.

Basert på GPS-dataene har det vært ønskelig å finne en passende metodikk for å kartlegge og identifisere mønstre i selve distribusjonskjøringen. I forbindelse med dette har det også vært sentralt å kartlegge metodikk for beregning av faktisk utkjørt distanse. Datasettet ble begrenset til Oslo og gamle Akershus fylke med rundt 4 millioner GPS-observasjoner. Generelt varierer turene i svært stor grad, både hva gjelder tidsbruk, avstand og antall observasjoner. I praksis er det derfor utfordrende å definere dedikerte distribusjonsturer basert på de enkelte turene, slik de opprinnelig var fordelt. For å si noe mer om antall mulige ruter i datasettet, ble turene inndelt etter en rekke kriterier. Generelt er det gjort inndeling av ruter hver gang stopptiden er over 20 minutter og det minimum er 50 GPS-observasjoner per rute. Ruten kan heller ikke ha et samlet tidsforbruk lengre enn 8 timer (ett arbeidsskift). Det samlede tidsforbruket inkluderer m.a.o. stopp der stopptiden er kortere enn 20 minutter. I tillegg er det satt som krav at den beregnede Haversine-distansen per rute ikke overstiger 50 km. Det er gjort tester med både 20 og 40 minutter for å identifisere subturene. Det ser ut til at de fleste subturene oppdages ved en antagelse om 20 minutter. Det kan imidlertid være behov for tilpasninger når hver enkelt rute vurderes. Vi har derfor beholdt en fleksibel tilnærming avhengig av den spesifikke ruten, men som hovedregel viser antagelsen om 20 minutter seg å gi godt resultat.

I tabell 2.1 fremgår en oversikt av antall ruter, med tilhørende statistikk. De statistiske beregningene er riktignok ikke sammenlignbare i forhold til det totale datagrunnlaget, men illustrerer likevel spredningen i det utvalgte segmentet av ruter. Totalt finner vi rundt 8 000 ruter, som i gjennomsnitt består av rundt 230 GPS-observasjoner hver. Rutene har en gjennomsnittlig beregnet Haversine distanse på rundt 26 km og en gjennomsnittlig rutetid, inklusive stopptid på nærmere 3 timer. Standardavvikene viser en del spredning både i lengde og tidsbruk. Samtidig, for den korteste ruten finner vi en distanse tilsvarende 32 meter. I praksis virker det usannsynlig med en 32 meter lang rute, dette også tatt i betraktning at ingen av rutene har mindre enn 51 GPS-observasjoner. Det er vanskelig å anslå en nedre distansegrense for hva som regnes som en rute. Imidlertid viser dette at enkelte av rutene må tolkes med varsomhet.

Som nevnt ble også turene inndelt i ruter der stopptiden var over 20 minutter. I de fleste tilfeller vil dette trolig gi et passende estimat på antall ruter. Ved vurdering av hver enkelt rute, vil det likevel være nødvendig med tilpasninger for å identifisere den sannsynlige distribusjonsruten.

---

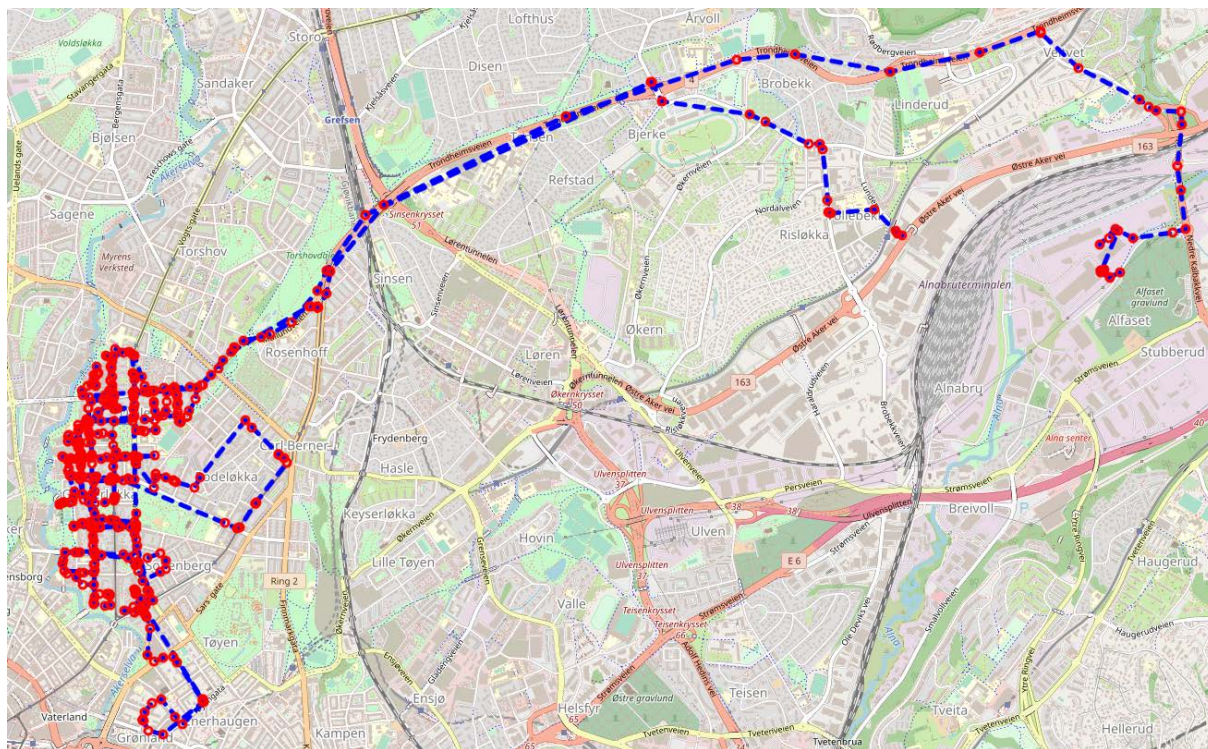
<sup>5</sup> [Distance on a sphere: The Haversine Formula - Esri Community](#)

Tabell 2.1: Statistikk for et utvalg av ruter, avledet fra GPS-tracking. Avrundet til nærmeste hele tall. Antall observasjoner er 8 312 ruter.

	Antall GPS-observasjoner	Haversine distanse (km)	Rutetid (timer)
Gjennomsnitt	230	26	2,73
Standardavvik	141	13	1,57
Minste	51	0,032	0,25
25 %	113	17	1,51
50 %	203	27	2,40
75 %	318	37	3,69
Største	1117	50	7,96

Figur 2.1 viser GPS-observasjoner for en utvalgt rute i Oslo. Det er gjort tilpasninger for å fange opp en sannsynlig rute. De røde punktene viser GPS-observasjonene registrert for varebilen. Den blå stiplede linjen er luftlinjen mellom to påfølgende GPS-observasjoner for å gi et mer illustrativt bilde av turen. Det er stor variasjon i avstand mellom GPS-punktene og flere av GPS-punktene virker å være påvirket av støy. Grovt sett, er det mulig å identifisere områder der varebilen har kjørt. Imidlertid er det vanskelig å identifisere eksakte vegvalg.

Haversine distansen som ble beregnet i LIMCO, kan sammenlignes med den stiplede linjen, ved at den indikerer korteste distanse mellom GPS-punktene. Det framkommer at denne ikke fanger opp kurvaturer i vegnettet. Alt tyder derfor på at distansen blir feilaktig målt (underestimert). Feilen vil være større desto lavere frekvens på hvert GPS-punkt. I dette spesielle tilfellet er det svært høy frekvens på GPS-punktene inne i sentrumsområdet, mens frekvensen ser ut til å være vesentlig lavere for tilbringertransporten fra/til terminalområdet.



Figur 2.1: Illustrasjon av GPS-tracking av en tilfeldig valgt tur. De røde punktene viser GPS-observasjonene for varebilen. Den blå stiplede linjen er luftlinjen mellom to påfølgende GPS-observasjoner.

### 2.2.3 Varebilmatrise

Fordi datagrunnlaget om varebiler generelt er mangelfullt, og fordi varebilsegmentet mangler i dagens transportmodellsystem for person og godstransport, har oppdragsgiver etterspurt en turmatrise for varebiler som kan netttutlegges i en modellkjøring med den regionale persontransportmodellen for Oslo og Akershus (Tramod by). Som en følge av det mangelfulle datagrunnlaget, er arbeidet basert på to datakilder, samt et valideringsgrunnlag basert på data om bompasseringer i Oslos bomsystem:

1. Trafikkgrunnlag
  - a. Varedistribusjon (basert på GPS-data fra varebiler som er beskrevet i 2.2.2)
  - b. Turmatriser fra Tramod by, for hhv. tjenestereiser og alle reiser som skal representere hhv. håndverker-/servicetransport og privat kjøring
2. Valideringsgrunnlag, som gir anslag på hvor stor andel elektriske varebiler utgjør av totalt antall lette kjøretøy
  - a. Data om bompasseringer på hvert bomsnitt i Oslo for de ulike takstgrupper, der elektriske varebiler er egen takstgruppe, for en uke i mars 2023
  - b. Alle bompasseringer fordelt på alle kjøretøygrupper for hver av de tre bomringene i Oslo (aggregerte data for hele november 2022),

Hver av delmatrisene for trafikkgrunnlaget er netttutlagt og summert over antall passeringer i Oslos bomsystem, justert til å treffe summen av bompasseringer og multiplisert med andeler av segmentets trafikkarbeid for varebil (fra SSBs varebilundersøkelse<sup>6</sup> for Oslo). Dette gir en varebilmatrise bestående av tre deler: Varedistribusjon, håndverker/service og privat bruk.

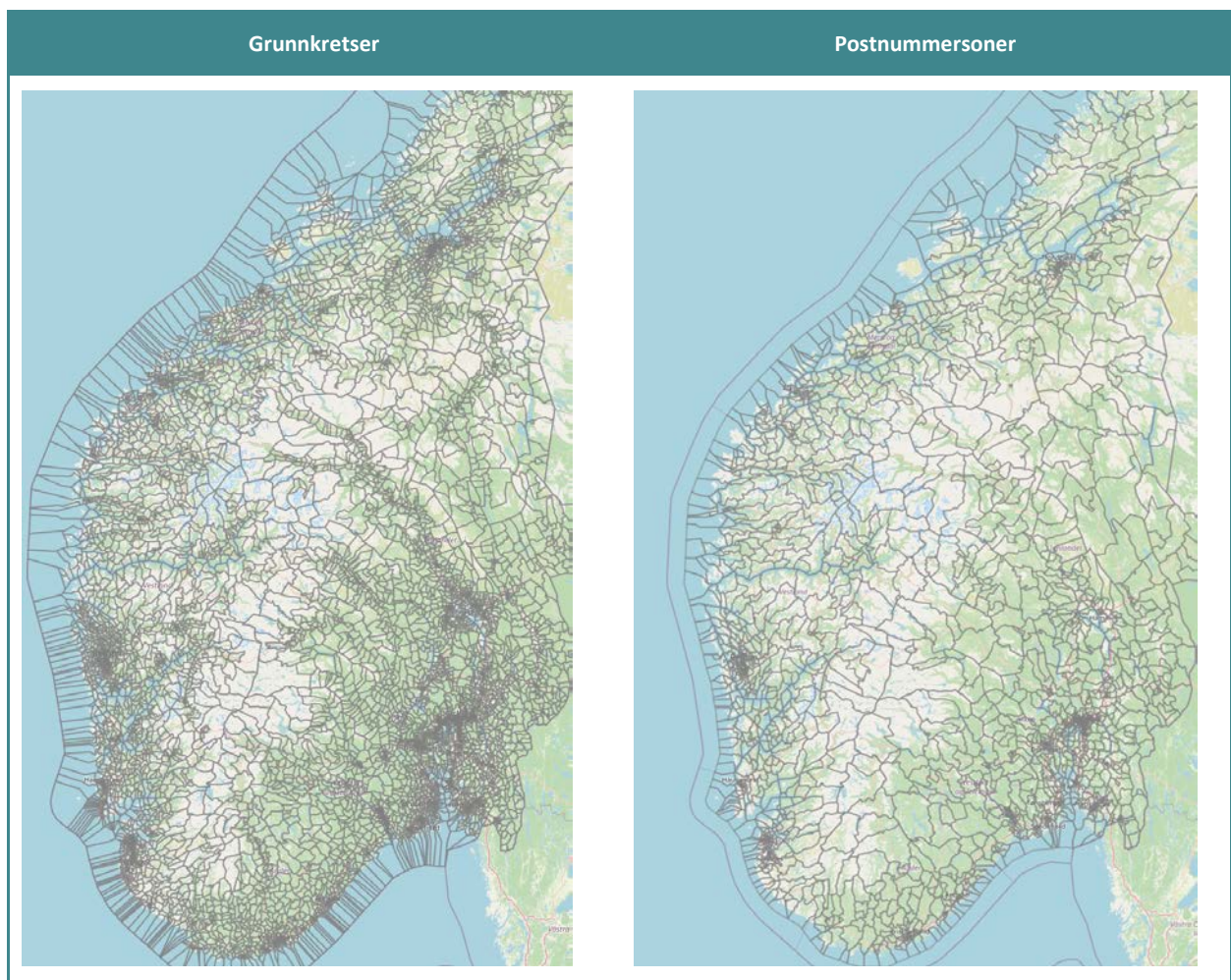
## 2.3 Alternative soneinndelinger

I persontransportmodellene, som f eks Tramod by, er soneinndelingen grunnkrets. I data fra transportører og i næringsstatistikk, inkludert SSBs lastebilundersøkelse, er rapporteringsnivået postnummer. Vi har derfor viet resten av dette kapitlet til å sammenlikne hvordan postnummer og grunnkretser fordeler seg innenfor Oslo.

I sum på landsbasis er det ca 14 000 grunnkretser og 3377 postnummersoner, men postnummersonene er særlig detaljert i byene. Dette framkommer tydelig av kartene i figur 2.2, som er basert på SSBs geografiske inndeling av grunnkretser (Statistisk Sentralbyrå, 2023) og Kartverkets geografiske postnummerinndeling (Geonorge, 2023). Områdene som er lite befolkningstette har generelt en mer grovmasket inndeling enn rundt byene, men grunnkretsene er også mer finmasket enn postnummersonene, noe man særlig ser for dalførene over hele Sør-Norge i kartene i figur 2.2.

---

<sup>6</sup> [Transport med varebiler. Statistikkbanken \(ssb.no\)](https://www.ssb.no/transport/transport-med-varebiler)



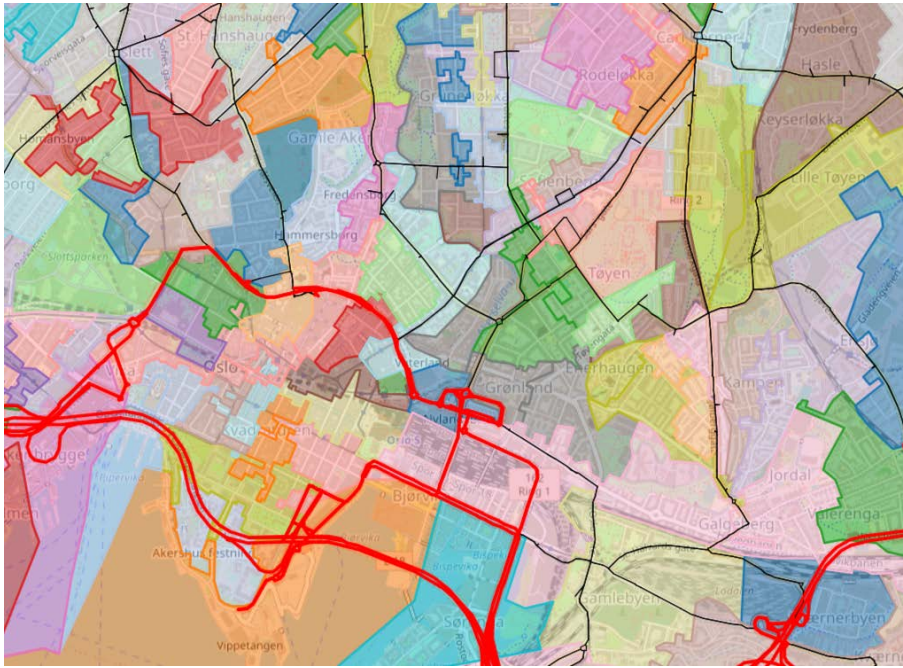
Figur 2.2: Grunnkretser (til venstre) og postnummersoner (høyre) i Sør-Norge.

I det følgende sammenlikner vi oppløsningen på postnummersoner og grunnkretser i Oslo.

### 2.3.1 Postnummersoner

Basert på Kartverkets geografiske postnummerinndeling (Geonorge, 2023) og SSBs geografiske kommuneinndeling (Statistisk Sentralbyrå, 2023), har det vært mulig å identifisere postnummerområder i Oslo kommune, der det geografiske midtpunktet i postnumrene var innen kommunegrensen. Godsmodellens vegnettverk er markert med røde veglenker.

Figur 2.3 viser et forstørret bilde av noen postnummersoner i Oslo sentrum. Europaveier, riksveier og fylkesveier er markert med røde linjer. Kommunale veier er markert med svarte linjer. I alt er det identifisert 445 unike postnummersoner i Oslo.

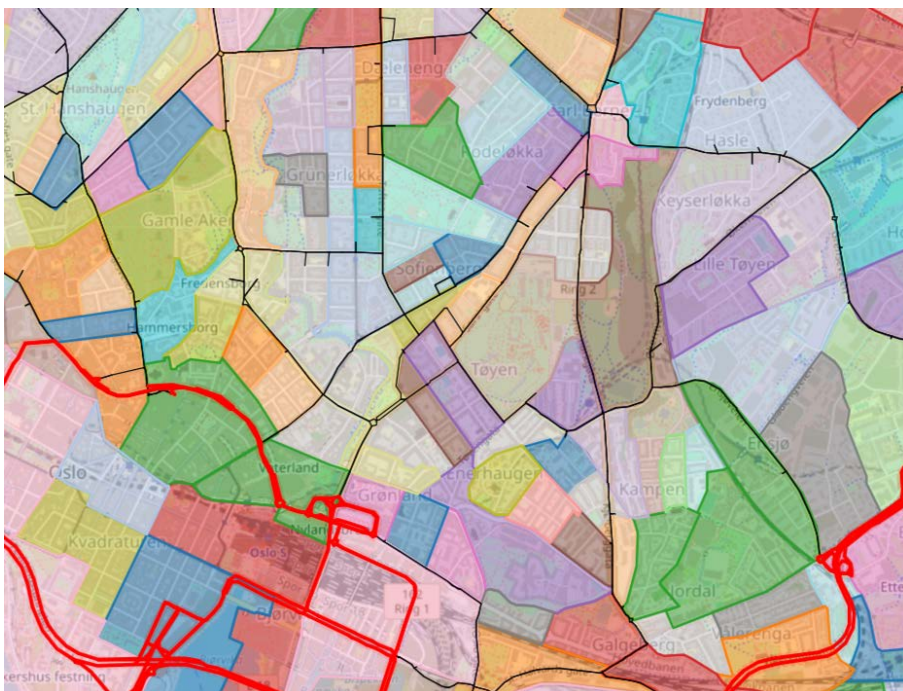


Figur 2.3: Postnummersoner og vegnettverk i Oslo sentrum. Vegnettet i Nasjonal godsmodell er markert med rødt.

### 2.3.2 Grunnkretser

SSBs geografiske inndeling av grunnkretser (Statistisk Sentralbyrå, 2023) muliggjorde identifisering grunnkretser i Oslo kommune, der grunnkretsens geografiske midtpunkt var innen kommunens grenser.

Figur 2.4 viser et forstørret bilde av noen grunnkretser i Oslo sentrum. Europaveier, riksveier og fylkesveier er igjen markert med røde linjer. Kommunale veier er markert med svarte linjer. I alt er det identifisert 591 unike grunnkretser i Oslo kommune.

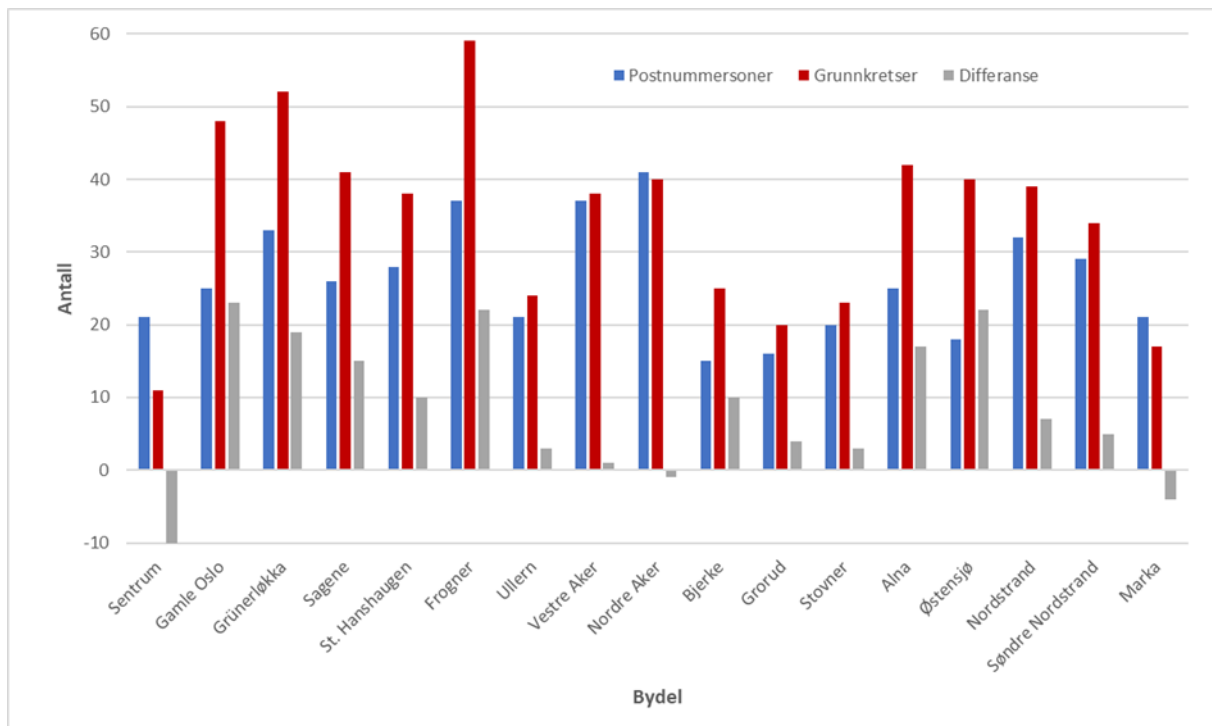


Figur 2.4: Grunnkretser og vegnettverk i Oslo sentrum. Vegnettet i Nasjonal godsmodell er markert med rødt.

### 2.3.3 Postnummersoner og grunnkretser i bydeler

SSBs geografiske inndeling av bydeler (Statistisk Sentralbyrå, 2023) muliggjorde identifisering av postnummerområdene og grunnkretsens tilhørende bydel. Dersom de geografiske midtpunktene var innen en bydels grenser, ble postnummersonen/ grunnkretsen ansett for å være en del av bydelen.

Figur 2.5 viser antall postnummersoner og grunnkretser fordelt etter bydeler i Oslo. I bydelene Gamle Oslo, Grünerløkka, Frogner, Østensjø, Alna og Sagene, er det langt flere grunnkretser enn postnummersoner. I Sentrum er det til sammenligning langt flere postnummersoner enn grunnkretser. Ved å sammenligne figur 2.3 og figur 2.4 og fokusere på sentrumsområdet, ser vi at postnummersonene er mer detaljerte enn grunnkretsene. I Vestre og Nordre Aker finner vi omtrent samme antall postnummersoner som grunnkretser.



Figur 2.5: Postnummersoner og grunnkretser fordelt etter bydeler i Oslo kommune.

## 3 Distribusjonsruter

*Dette kapitlet dokumenterer arbeid med map-matching av GPS-data fra varebiler som er benyttet til distribusjonskjøring i Oslo. Hensikten er å identifisere ruteopplegget i en distribusjonsrute. Deretter tester vi ut ulike teknikker for ruteoptimering og sammenlikner optimerte og observerte ruter basert på samme sett av leveringspunkter. Til sist i kapitlet foreslår vi et opplegg for hvordan distribusjonsruter kan modelleres i en urban godstransportmodell.*

### 3.1 Distribusjonsruter basert på GPS-data

Til å fordele distribusjonsruter basert på GPS-koordinater ut i vegnettet, er det gjort tester med algoritmer for map-matching, basert på tilgjengelig vegnett i «Open Street Map». Dette ble gjort ved å benytte et Python-bibliotek kalt «Road System Energy and Emission Model» (Roseem) (Weber, 2023). Roseem er videre basert på Python-biblioteket LeuvenMap-matching (LeuvenMap-matching, 2018) som benytter en «Hidden Markov Model» (Meert & Verbeke, 2018). Roseem er under utvikling, og planen er at den på sikt vil kunne forenkle prosessen ved map-matching, uten at man trenger vesentlige bakgrunnskunnskaper om metoden.

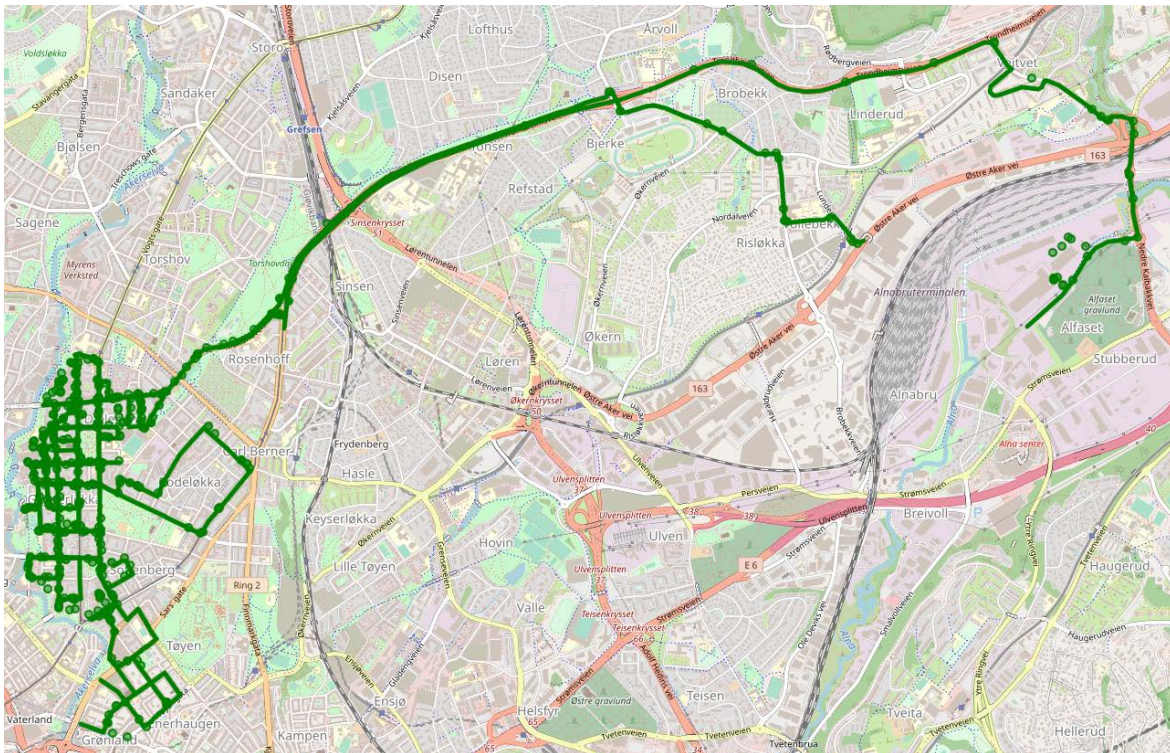
I det følgende er map-matchingen basert på 11 ruter, utvalgt fra en typisk dag, 3. mars 2020. Opprinnelig identifiserte vi 43 ruter denne dagen, men valget falt på 11 av disse rutene da de syntes representative for distribusjonsomfanget denne dagen. Rutene ble inndelt i intervaller av et bestemt antall GPS-observasjoner, da dette forenklet arbeidet med map-matchingen. Hvert enkelt intervall hadde startpunkt i koordinatet der det forrige intervallet ble avsluttet. Tabell 4-1 viser egenskaper ved rutene, der distanseberegning vha Haversine er forklart i avsnitt 2.2.2. Som nevnt i delkapittel 2.2.2 akkumuleres stopptiden så lenge kjøretøyet holder seg innenfor en radius på 125 meter fra første stoppobservasjon. En mulig svakhet og potensiell feilkilde i analysen er derfor at samtlige av GPS-observasjonene er inkludert, uavhengig om observasjonene er omfattet av et stopp. Inkludering av GPS-observasjoner tilknyttet stopp, kan trolig resultere i ulogikker og at enkelte vegsegmenter blir unødig kalkulert. På den annen side ville eliminering av stopp-observasjoner gitt utfordringer knyttet til hva som blir å anse som første observasjon etter stoppet er utført. I tillegg er det sannsynlig at enkelte deler av ruten ikke blir fanget opp ved å fjerne stopp-observasjoner.

Tabell 3.1. Egenskaper ved utvalgte ruter.

Rute	Antall GPS-observasjoner	Rutetid (timer)	Haversine distanse (km)
Rute 1	558	6,98	36,03
Rute 2	534	4,85	43,28
Rute 3	532	6,31	46,56
Rute 4	277	3,15	32,89
Rute 5	351	6,36	42,43
Rute 6	87	2,23	23,99
Rute 7	102	4,39	33,97
Rute 8	439	5,73	85,33
Rute 9	437	6,79	57,85
Rute 10	443	8,15	84,47
Rute 11	511	4,92	47,54

Figur 3.1 viser resultatet av map-matchingen for rute 1. Resultatene for rute 2 til 11, fremgår i vedlegg 2. Den grønn-fargede linjen viser valg av mest sannsynlige vegsegmenter, basert på map-matchingen. Ut fra figuren kan vi se at rute 1 har startpunkt i nærheten av Vollebekk og slutt punkt på Alfaset. Videre ser

vi at distribusjonskjøringen i hovedsak foregår på Grünerløkka, sentralt i Oslo. Ut fra denne figuren er det riktignok vanskelig å si noe om presisjonen til map-matchingen.

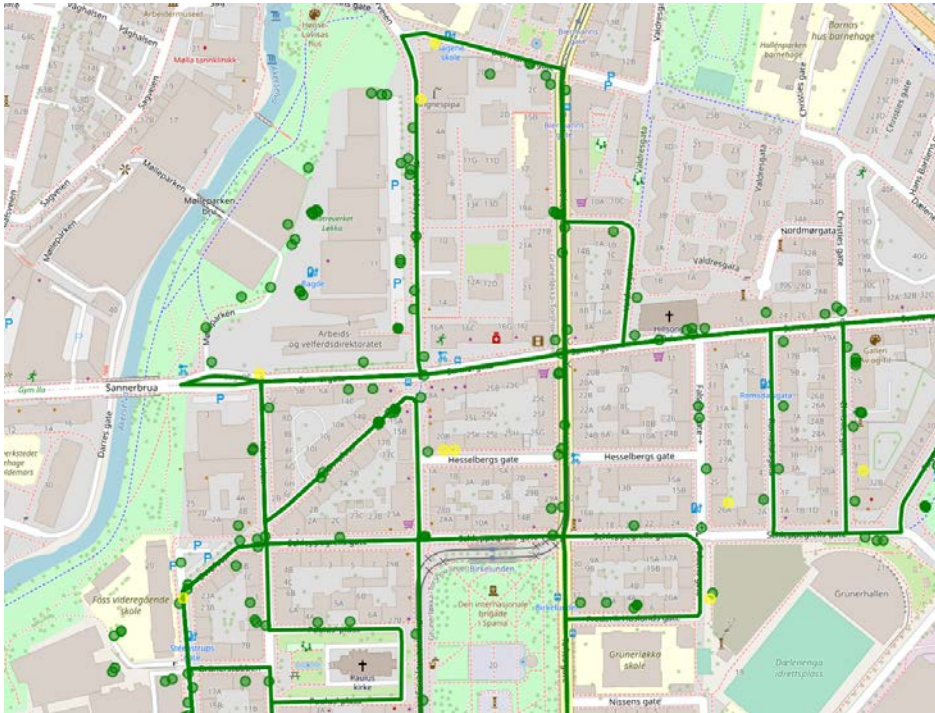


Figur 3.1: Resultat av map-matching for rute 1, illustrert i Open Street Map.

Figur 3.2 viser et forstørret bilde av map-matchingen for rute 1, der fokus er distribusjonen på Grünerløkka. De grønne sirklene viser GPS-observasjoner med stopptid under 2 minutter. GPS-observasjoner der stopptiden er minst 2 minutter er markert med gule sirkler.

Ved å foreta en visuell vurdering, ser det ut til at map-matchingen produserer sannsynlige valg av veg-segmenter. I flere tilfeller vises likevel GPS-observasjoner langt unna de valgte veg-segmentene, mens i noen tilfeller ser det også ut til at map-matchingen har feilet, ved at ingen vegsegmenter er matchet, til tross for tilgjengelig koordinater. Det er uvisst hva dette skyldes, men mulige forklaringer kan skyldes feilaktig justering av input parametere eller manglende vegsegmenter i Open Street Map, evt. støy i GPS-koordinatene, som kan skyldes tett bebyggelse. Støy kan i så fall medføre upresise koordinater som ikke nødvendigvis er i nærheten av tilgjengelige vegsegmenter. Ytterligere forklaringer er enveiskjørte veier, og/eller veier eller områder som ikke er åpne for biltrafikk, f.eks. gågater, noe som f.eks. ser ut til å gjøre seg gjeldende for innkjøring til parkeringsplasser og skoler. Når det gjelder inputparametere vil det kreve ytterligere analyser for å finne optimal justering og hvordan disse håndterer støy i GPS-koordinatene.





Figur 3.2: Illustrasjonskart av utvalgte noder fra map-matching, rute 1.

Basert på map-matchingen er distansen beregnet ved å summere lengden av de matchede vegsegmentene. I enkelte tilfeller forekom duplikater av vegsegmenter i påfølgende rekkefølge, noe som medførte overestimering av distanse. Dette skyldes trolig intervall-inndelingen av GPS-observasjoner og lengden på de ulike veglenkene fra OpenStreetMap. Problemet ble løst ved å utelate duplikater av vegsegmenter som forekom i påfølgende rekkefølge. Resultatet vises i tabell 4-2, der map-matchingsdistansen er sammenlignet med Haversine distansen beregnet i LIMCO.

Tabell 3.2: Resultater fra map-matching sammenlignet med data fra LIMCO-prosjektet.

Rute	Antall GPS-obs.	Rutetid (timer)	Haversine distanse (km)	GPS-obs/km	Map-matching distanse (km)	Avvik (km)	Avvik i %	Avvik i % (vektet etter antall GPS-observasjoner)
1	558	6,98	36,03	15,5	39,92	3,88	10,8 %	1,4 %
2	534	4,85	43,28	12,3	51,16	7,88	18,2 %	2,3 %
3	532	6,31	46,56	11,4	55,19	8,63	18,5 %	2,3 %
4	277	3,15	32,89	8,4	38,21	5,31	16,2 %	1,0 %
5	351	6,36	42,43	8,3	49,94	7,52	17,7 %	1,5 %
6	87	2,23	23,99	3,6	32,76	8,77	36,6 %	0,7 %
7	102	4,39	33,97	3,0	42,33	8,36	24,6 %	0,6 %
8	439	5,73	85,33	5,1	95,07	9,69	11,4 %	1,2 %
9	437	6,79	57,85	7,6	60,39	2,55	4,4 %	0,5 %
10	443	8,15	84,47	5,2	98,47	14,01	16,6 %	1,7 %
11	511	4,92	47,54	10,7	53,54	6,00	12,6 %	1,5 %
Sum								14,7 %

Resultatet viser at samtlige av map-matching distanser er lengre enn distansene beregnet ved Haversine-formelen. Det vektete avviket i % forteller oss at distansen beregnet ved map-matching i gjennomsnitt er rundt 15% lengre enn Haversine-distansen. Dette er som forventet og skyldes at Haversine-distansen beregner luftlinjen mellom hvert GPS-koordinat og ikke fanger opp kurvaturer i

vegnettet og dermed underestimerer distansen. Det største avviket i % finner vi for rute 6, etterfulgt av rute 5 med avvik på henholdsvis 37% og 25%. Dette er også de to rutene som har lavest tetthet av GPS-punkter pr beregnet Haversine-distanse, men dette er også blant de korteste rutene. Dette illustrerer viktigheten av god frekvens på GPS-dataene om de skal gi et godt grunnlag for å beregne distanse, men også for distansen målt etter map-matching. Det minste avviket i % finner vi for rute 9, med rundt 4%. Rute 9 viser også det absolutt laveste avviket på rundt 3 km, samtidig observerer vi at denne ruten ikke har veldig høy GPS-tetthet. Det absolutt største avviket finner vi for rute 10, etterfulgt av rute 8, med avvik på henholdsvis 14 og 10 km. Avviket vil trolig ha mindre betydning desto lengre ruten er, men vel så viktig er nok hvor komplisert ruteopplegg en rute har, og lenger ruter har gjerne mindre komplisert ruteopplegg.

Som nevnt har det vært utfordringer ved optimal justering av input-parameterne. I tillegg vil inkludering av GPS-observasjoner tilknyttet stopp, trolig medføre ulogikker og unødig beregning av enkelte vegsegmenter. En konsekvens av dette kan være overestimering av distanse. Videre har det vært avdekket manglende vegsegmenter pga støy som kan skyldes tett bebyggelse, men også tunneller vil medføre tilsvarende utfordringer. Konsekvensen av dette er trolig underestimering av distanse. Alt tatt i betraktning må derfor også map-matching-distansen tolkes med varsomhet.

## 3.2 Distribusjonsruter basert på ruteoptimering

En GPS-rute gir verdifull innsikt om hvordan rutene faktisk organiseres, men gir kun et øyeblikksbilde av fortiden. Ruteoptimering, derimot, gir muligheter for å planlegge den mest tidseffektive ruten og leveringsrekkefølgen for alle leveranser en gitt dag. Ruteoptimering er et avgjørende element i den dynamiske og utfordrende verden av urban logistikk (Schneider et al., 2018). Ved å analysere og planlegge den mest effektive ruten og rekkefølgen på leveransene, kan man minimere kostnadene, redusere leverings-tid og miljøpåvirkning (Dong et al., 2019). Ruteoptimeringsalgoritmer kan også brukes på innovative måter, for eksempel ved å rekonstruere distribusjonsruter, gitt informasjon om kundestedene.

Med tilgang til detaljerte GPS-ruter, kan man få innsikt i kjøremønstre, tid brukt på hvert leveringssted, og avstander mellom disse stedene. Denne forståelsen kan videre brukes til å bygge en optimeringsmodell som søker å minimere kostnader (for eksempel drivstoff, tid, eller avstand) mens den oppfyller servicekravene for hver kunde.

På et mer konseptuelt nivå, representerer en rute basert på ruteoptimering en bestemt kjøretrasé eller vei som en varebil tar for å betjene en sekvens av kundesteder. I sin mest grunnleggende forståelse kan en rute ses på som en vei fra et startpunkt, gjennom flere mellomliggende kundesteder, hvor hvert kundested er et sted hvor det utføres en bestemt tjeneste, som for eksempel levering, og endelig til et endepunkt, som ved en rundtur gjerne er sammenfallende med startstedet. Det bør bemerkes at selv om GPS-ruter gir en faktisk avbildning av en kjørt rute, kan optimaliserte ruter avvike avhengig av modellens begrensninger, datagrunnlaget den bruker, og de definerte målene for optimeringen.

I dette henseende kan informasjonen vi har om kundestedet være et postnummerområde istedenfor et presist koordinat, noe som bringer en ny dimensjon til hvordan ruteoptimering kan anvendes. Denne ideen bygger på arbeidet av Jones et al. (2020), som foreslo at ved å tilpasse ruteplanlegging til mer generelle geografiske områder, kan man oppnå mer robuste og fleksible logistikk-løsninger som er mer motstandsdyktige mot usikkerhet og endring.

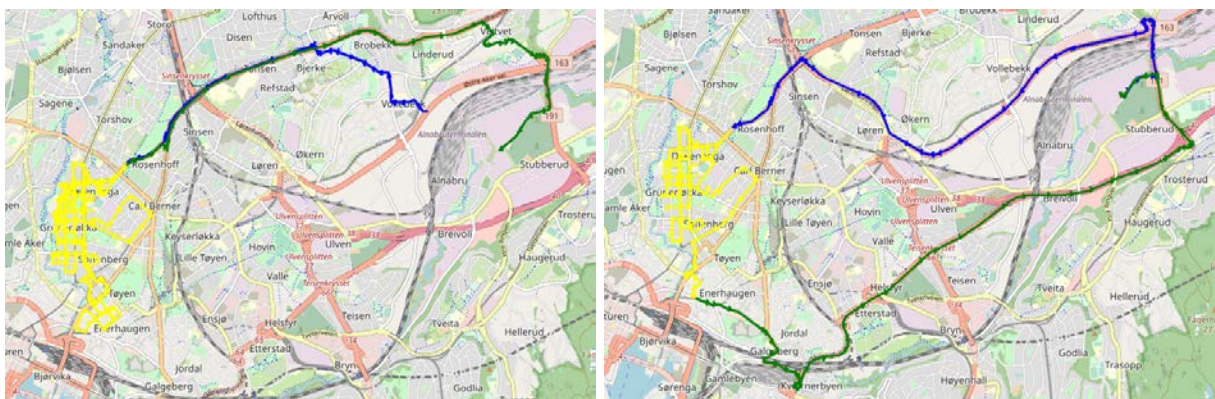
I modellen som presenteres under blir en simulert lokasjon definert som et tilfeldig valgt geografisk koordinat innenfor grensene til leveringspostnummerområdet. Dette er ikke en spesifikk eller eksakt adresse, men heller et punkt som faller innenfor et geografisk område som tilsvarer et gitt postnummer.

Metoden for å velge en slik simulert lokasjon kan være basert på en rekke faktorer, som f.eks. befolkningstetthet eller forretningsplassering innenfor postnummerområdet, f.eks. fra SSBs rutenettsdata<sup>7</sup>, eller den kan være helt tilfeldig. Datagrunnlaget kan f.eks. tilpasses avhengig av om leveransen er fra bedrift til bedrift (B2B), bedrift til konsument (B2C) eller mellom konsumenter (C2C).

En slik tilnærming gjør det mulig å generere representative punkter for analyser og simuleringer, der eksakte adresser ikke er tilgjengelige. Det gir et realistisk, men likevel generelt bilde av distribusjonsmønstre, ruteplanlegging, og andre geografisk relaterte analyser. Det må imidlertid bemerkes at metoden introduserer en viss usikkerhet, ettersom et tilfeldig lokasjonsvalg innenfor en postnummerzone kan føre til variasjoner i resultatene avhengig av de spesifikke punktene som blir valgt. På den annen side er heller ikke leveringssituasjonen statisk, emn dynamisk og vil variere fra dag til dag og mellom tidspunkt på dagen.

En interessant problemstilling her er om resultatene vil variere hvis informasjonen som brukes til ruteoptimering er basert på postnummerområder heller enn på spesifikke koordinater. Som foreslått av Ferrell et al. (2022), kan man ved å bruke postnummerområder som grunnlag for ruteplanlegging skape ruter som er mer tilpasningsdyktige til endringer i trafikkmønstre og kundenes etterspørsel. For å undersøke dette, har vi utført en serie analyser og simuleringer der postnummerområder benyttes som grunnlag for ruteoptimering. Vi sammenligner deretter resultatene med det vi får når vi bruker presise koordinater.

I figur 3.3 og figur 3.4 har vi sammenliknet rutevalg basert på map-matching (heretter omtalt som observert rute) med rutevalg i den optimaliserte ruten. Det er tatt utgangspunkt i rute 1 og 2, som er presentert i kapittel 3.1.



Figur 3.3: Sammenlikning av observert rute (til venstre) og optimalisert rute (til høyre), Rute 1.

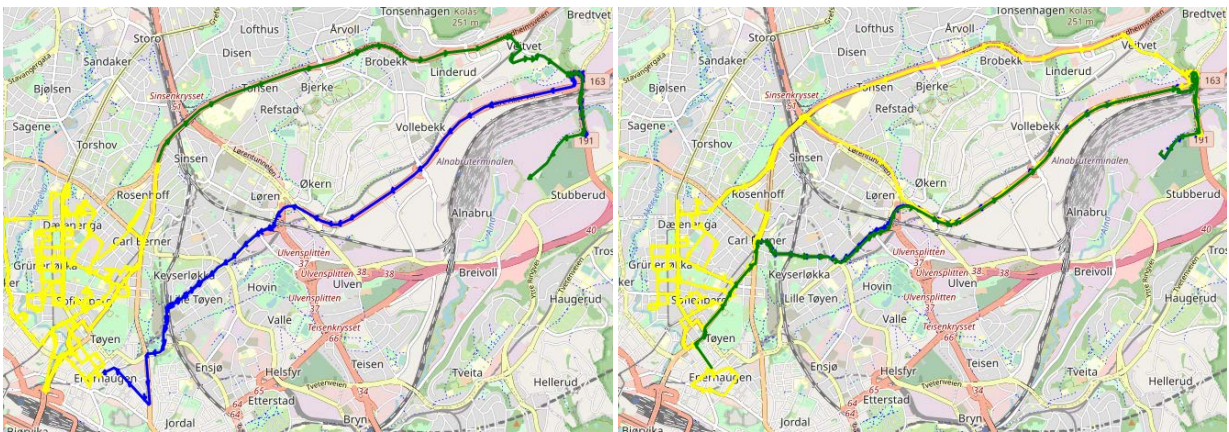
For rute 1 observerer vi vesentlige forskjeller mellom ruten basert på map-matching og den optimaliserte ruten. Map-matchingen resulterte i en beregnet distanse på 39,9 km. Til sammenlikning er den optimaliserte ruten beregnet til 45,7 km. En del av forskjellen kan tilskrives at observert ruten mangler en delstrekning fra terminalen som er inkludert i den optimaliserte ruten. Viktigere elementer er knyttet til rutevalget til og fra distribusjonsområdet, men også for selve distribusjonsruten på Grünerløkka, resulterer den optimerte ruten i en betydelig kortere distanse enn den observerte ruten. En mer detaljert analyse finnes i avsnitt 3.3.4.

Analysen av distribusjonsrutene avdekker at forskjellige tilnærmelser, som GPS-sporing og map-matching på den ene siden og ruteoptimeringsalgoritmer basert på informasjon om leveringssted på den annen side, ofte gir forskjellige veivalg til leveringsområdet. Dette illustrerer hvordan variasjoner i

<sup>7</sup> [https://www.ssb.no/natur-og-miljo/geodata/#Nedlasting\\_av\\_rutenettsstatistikk](https://www.ssb.no/natur-og-miljo/geodata/#Nedlasting_av_rutenettsstatistikk)

tilnærmingen kan gi ulike innblikk i transportmønsteret i et bestemt område. For eksempel kan observert rute reflektere faktiske kjøreforhold og hindringer, mens den optimaliserte ruten er mer teoretisk. Ved å sammenligne disse to tilnærmingene oppnår vi verdifull innsikt i hvordan transportmønsteret kan modelleres på en måte som både reflekterer den faktiske trafikkflyten og som kan tilpasse seg til ulike transportbehov.

Under leveringsprosessen kjører den observerte ruten noen veisegmenter flere ganger, mens den optimaliserte ruten unngikk slike duplikater. Forklaringer på dette kan være at føreren har lett etter et egnet sted for parkering, eller har hatt utfordringer med å finne eksakt leveringsadresse. Dette viser hvordan faktiske ruter kan oppstå i praksis, noe den optimaliserte ruten ikke vil gjenskape. Resultatet blir gjerne at transportmodellene vil underestimere faktisk utkjørt distanse med mindre man inkluderer en eller annen form for støy i simuleringene.



Figur 3.4: Sammenlikning av observert rute (venstre rute) og optimalisert rute (høyre rute), Rute 2.

For rute 2, er det mindre forskjell mellom observert ruten og den optimaliserte ruten, sammenlignet med det vi observerte for rute 1. Map-matchingen beregnet en distanse på 51,2 km, mens den optimaliserte ruten til sammenligning ble beregnet til 55,4 km.

I figur 3.3, kan det observeres en variasjon i rutevalget mellom den optimaliserte ruten og observert rute både til og fra leveringsregionen, med unntak av en kort strekning der begge rutene sammenfaller. Dette stiller spørsmål ved antagelsen om at den foreslåtte metoden for ruteoptimering med postnummerområder som pseudo-leveringslokasjoner kan reprodusere den faktiske ruten nøyaktig. Særlig gjelder dette i sammenheng med ruteplanlegging mot leveringsregionen.

Funnene indikerer at det er nødvendig med en mer nyansert tilnærming for å forstå samspillet mellom map-matching og ruteoptimering. Dette kan innebære en dypere analyse av hvorfor rutene avviker og en vurdering av hvordan faktorer som trafikkforhold, veityper, og andre geografiske og logistiske forhold kan innvirke på valg av rute. Ytterligere studier kan gi innsikt i hvordan en optimalisert rute kan modifiseres for å gi mer realistiske ruter som reflekterer de faktiske forholdene på veien, noe som vil være av stor verdi for offentlig planlegging og transportmodellering.

En mer detaljert sammenligning av de simulerte og faktiske rutene er gjennomført ved å beregne avviket i prosent mellom simulert distanse ved hjelp av optimeringsmodellen og avstanden beregnet ved map-matching. Avviket er beregnet for ulike tidsluker, som varierer fra 15 til 90 minutter rundt tidsstempelet fra GPS-koordinatene til kundestedene. Resultatene er oppsummert i tabell 3.3.

Tabell 3.3: Prosentvis avvik mellom simulert distanse ved bruk av optimeringsmodell, for ulike tidsluker (i minutter), og distanse beregnet ved map-matching, for Rute 1 og 2.

Tidsvindu (min)	15	30	45	60	75	90
Rute 1	44,6 %	22,5 %	24,6 %	11,9 %	6,5 %	0,9 %
Rute 2	0,1 %	-6,4 %	-17,1 %	-20,6 %	-26,2 %	-29,0 %

Tabell 4.3 viser prosentvis avvik mellom simulert distanse ved bruk av en optimeringsmodell for ulike tidsvinduer (i minutter) og distanse beregnet ved map-matching for rute 1 og 2. Dette gir oss innsikt i hvordan de forskjellige tidsvinduene påvirker simulert distanse sammenliknet med observert distanse. For Rute 1 ser vi et betydelig høyere avvik mellom den simulerte og observerte distansen, spesielt i mindre tidsvinduer. Dette avviket kan delvis forklares med at observert ruten mangler et delstrekk fra terminalen, men den viktigste forklaringen er som nevnt over at det velges ulike veivalg til og fra distribusjonsområdet. Mangelen i GPS-dataene, fremhever betydningen av fullstendige og nøyaktige data for å oppnå realistiske og nøyaktige simuleringer, og understreker viktigheten av å ha en grundig forståelse av de underliggende dataene når man tolker resultatene fra en optimeringsmodell. Uten denne kunnskapen, kan avviket bli feiltolket som en feil i optimeringsmodellen, snarere enn et datakvalitetsproblem.

For Rute 2 er avviket mellom den simulerte ruten og observert ruten betydelig lavere sammenliknet med Rute 1 for de kortere tidsvinduene. For et tidsvindu på 15 minutter er avviket bare 0,1 %. Avviket øker imidlertid for større tidsvinduer, og for et 90-minutters tidsvindu er avviket på -29,0 %. Den optimaliserte ruten blir kortere når tidsvinduet økes. Det vil si at ved trangere tidsvinduer må transportøren legge inn større tidsbuffer for å overholde tidskravene. Negative avvik i Rute 2 kan indikere at den optimaliserte ruten er kortere enn den faktiske observert ruten. Det kan bety at optimeringsmodellen overser noen viktige praktiske hensyn som trafikk, veiforhold, eller leveringsprioriteter som kan påvirke valg av faktisk rute. At vi får motsatt resultat for de to rutene kan også tyde på at disse henvender seg til ulike kundesegmenter, med ulike tidskrav. Dette kan typisk være til bedriftsmarkedet (B2B og trangere tidsvinduer) og til konsummarkedet (B2C og videre tidsvinduer). Det kan også skyldes en for sterk vektlegging av distanseminimering uten hensyn til andre faktorer som reelle restriksjoner, førerens beslutninger, trafikkforhold, og lignende.

Forskjellene mellom Rute 1 og Rute 2 antyder at hver rute har unike egenskaper som kan påvirke simuleringens nøyaktighet. Dette kan inkludere kompleksitet i rutens geografi, trafikkforhold, ulike kundesegmenter (B2B eller B2C) leveringskrav, osv. At de to rutene viser forskjellige mønstre av avvik indikerer at optimeringsmodellen kanskje ikke har en uniform respons over forskjellige leveringsruter. Dette kan være et viktig punkt for videre analyse og modelljustering. Forståelsen av hvordan optimeringsmodellen oppfører seg under forskjellige tidsbegrensninger kan hjelpe til å velge riktig tidsvindu for spesifikke anvendelser. For eksempel, hvis man ønsker å simulere en mer realistisk rute, kan et større tidsvindu være mer passende for Rute 1, mens et mindre tidsvindu kan være mer passende for Rute 2.

Disse observasjonene kan føre til at modellen blir bedre ved å inkorporere flere faktorer i optimeringsprosessen eller ved å justere modellparameterne spesifikt for ulike kundesegmenter. Tabell 3.3 gir en nyttig innsikt i hvordan en optimeringsmodell oppfører seg under varierende tidsvinduer, og avslører kompleksiteten og utfordringene i å simulere virkelige distribusjonsruter. Det oppfordrer til en mer nyansert tilnærming til modellering som tar hensyn til flere faktorer, noe som kan lede til mer nøyaktige og realistiske rutesimuleringer. Å ta hensyn til flere reelle begrensninger og forhold i modellen kan forbedre dens evne til å gjenskape faktiske ruter. Det kan være nyttig å utføre en grundigere analyse av hver rute individuelt for å forstå de unike egenskapene og utfordringene de presenterer.

I fremtidige analyser og modellutvikling, er det viktig å undersøke kvaliteten og fullstendigheten av de innkommende dataene nøye, og vurdere eventuelle forbehandlings- eller korreksjonstrinn som kan være nødvendig for å sikre at simuleringene blir basert på et solid datagrunnlag. Dette vil bidra til å gjøre simuleringene mer pålitelige og nøyaktige og bedre reflektere det faktiske transportmønsteret.

Simulering av distribusjonsruter basert på postnummerområder har vist seg å gi relativt nøyaktige resultater. Men det er viktig å merke seg at denne nøyaktigheten kan variere betydelig mellom forskjellige ruter og under forskjellige forhold. Varierende forutsetninger om tidsvinduer kan både slå ut i økte og reduserte avvik fra observerte løsninger, noe som kan indikere over-optimering eller en manglende vurdering av reelle faktorer som trafikk, veiforhold, eller leveringsprioriteter. Dette understreker behovet for en mer nyansert tilnærming til modellering som tar hensyn til flere faktorer og realiteter i transportmønsteret. Det fremhever også viktigheten av å ha en grundig forståelse av de unike egenskapene og utfordringene i hver rute. Selv om simuleringen kan gi pålitelige resultater, er det fortsatt rom for forbedringer og finjusteringer for å sikre at simuleringene er mer realistiske og i samsvar med de faktiske rutene, og under ulike forutsetninger om tidsvinduer.

Samlet gir observasjonene og implikasjonene viktig innsikt i styrkene og begrensningene i optimeringsmodellen og peker på veier for fremtidig forbedring og forskning.

### 3.3 Metodevalg til transportmodellering

I transportmodellsammenheng, der man trenger informasjon om totalmarkedet, er tilgjengeligheten til sendingsdata mer realistisk, enn tilgangen til GPS-data. Det er derfor viktig å etablere optimeringsmodeller som kan benytte sendingsdata som input. GPS-dataene gir imidlertid innsikt i den faktiske distribusjonssituasjonen og øker vår forståelse av kunderelaterte aktiviteter, og mer detaljert og nøyaktig representasjon av bylogistikkbildet.

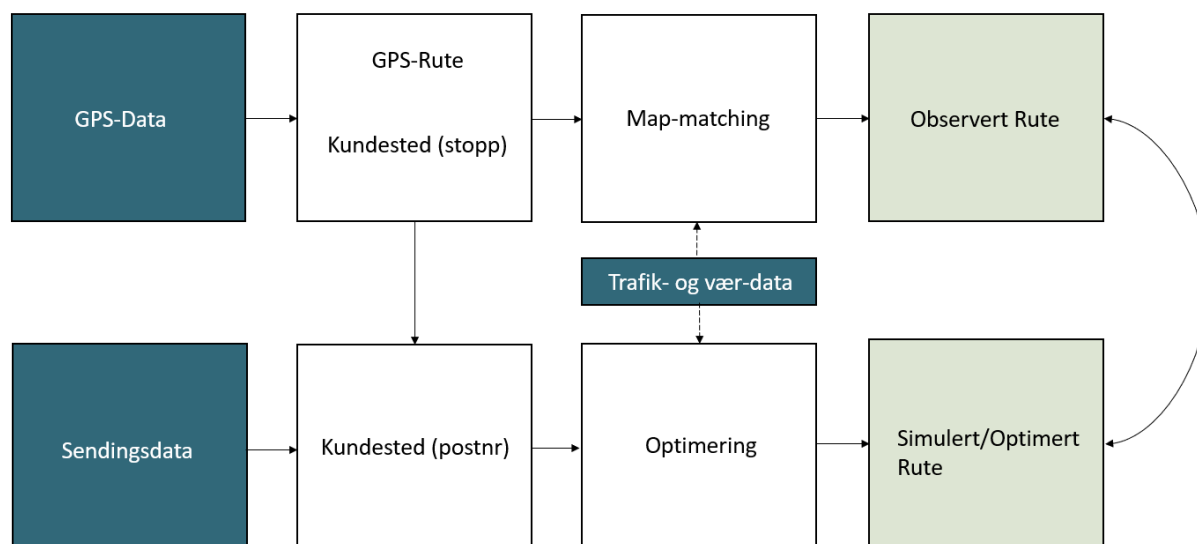
Ved å sammenligne optimerte og observert ruter, kan vi vurdere hvor godt de simulerte rutene fra optimeringsmetodene gjenspeiler virkelige distribusjonsruter. Sammenligningen er avgjørende for å forstå effektiviteten av våre optimeringsteknikker, spesielt når målet er simuleringsnøyaktighet.

Selv om optimeringsmodellen for øyeblikket er statisk, har den et potensial for å bli dynamisk. Dette kan oppnås ved å integrere eksterne inndata. Eksempler på dette er (sanntids) data om trafikkinformasjon og f.eks værforhold, slik at modellen kan tilpasses en rekke endrende scenarioer. Denne tilpasnings-evnen vil forsterke robustheten og gi mer nøyaktige simuleringer og forutsigelser under varierte forhold.

Kort sagt, gjennom en blanding av datadrevne innsikter fra GPS-data, og en tilnærming gjennom map-matching og optimering, sikter vi etter å skape en transportmodell som nøyaktig kan representere og simulere distribusjonsruter for varebiler i urbane områder. Prosessen er illustrert i figur 3.5.

Basert på vårt formål er forskningsspørsmålene som følger:

- Kan optimeringsmodeller nøyaktig simulere virkelige distribusjonsruter for varebiler i urbane logistikkmiljø?
- I hvilken grad kan optimeringsmodeller nøyaktig simulere virkelige distribusjonsruter i urban logistikk?
- Hvor oppstår avvik mellom modellen og de observerte rutene, og er det gjennomførbart å eliminere slike uoverensstemmelser? Hvis ja, hvordan kan disse avvikene rettes opp?



Figur 3.5: Modellering av distribusjonsruter ved bruk av map-matching og optimering.

### 3.3.1 Data

Vi benytter de samme dataene som er presentert i avsnitt 3.1. I alt identifiserte vi 43 ruter denne dagen, mens det ble foretatt map-matching for 11 av rutene. Å analysere data fra én enkelt dag gir oss et mer håndterbart datasett, noe som lar oss undersøke detaljene mer nøye uten å bli overveldet av for mye informasjon. Man unngår også ekstraordinære hendelser eller avvik som kan skje sporadisk og som kan påvirke analysen. Dette gir et solid fundament og forståelse av daglige trender og mønstre, som senere kan ekstrapoleres eller brukes som grunnlag for mer komplekse modeller som vurderer lengre tidsperioder. Det er også viktig å merke seg at ved å forstå dynamikken en typisk dag, kan vi lage modeller som er representative og dermed mer nøyaktig forutsier lignende dager i fremtiden.



Figur 3.6: Fordeling av antall kundesteder per rute for de 43 rutene som ble analysert den 3. mars 2020.

I figur 3.6 presenteres en fordeling av antall stopp per rute for den valgte datoen. To hovedkategorier fremstår i grafen: turer med ett kundested og turer med flere enn ett kundested. Ut fra de 43 rutene vi identifiserte den valgte datoen, viser det seg at 10 av disse rutene, som representerer 23,3% av totalen, kun hadde ett stopp. På den annen side hadde de resterende 33 rutene flere enn ett stopp, noe som tilsvarer 76,7% av totalen.

Optimeringsmodeller for ruteplanlegging (Vehicle Routing Problem, VRP) er i hovedsak egnet for simulering av turer med mer enn ett kundested, ettersom en VRP-modell håndterer beslutninger om besøksrekkefølgen for flere kunder. For turer med kun ett stopp, gir det begrensede muligheter for optimering,

pga minimal beslutningstaking involvert i sekvensen. Ved mer enn ett stoppested, kreves strategisk planlegging for å bestemme den mest effektive rekkefølgen av kundebesøk. Tabell 3.4 illustrerer antall kundesteder (antall stopp) for de valgte rutene, fra rute 1 til rute 11, der samtlige av rutene har mer enn ett kundested. De valgte rutene egner seg dermed godt som utgangspunkt i optimeringsmodellen.

Tabell 3.4: Antall kundesteder per rute.

Rutenr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Antall stopp	30	29	34	13	16	10	15	16	24	13	20

### 3.3.2 K-means Clustering

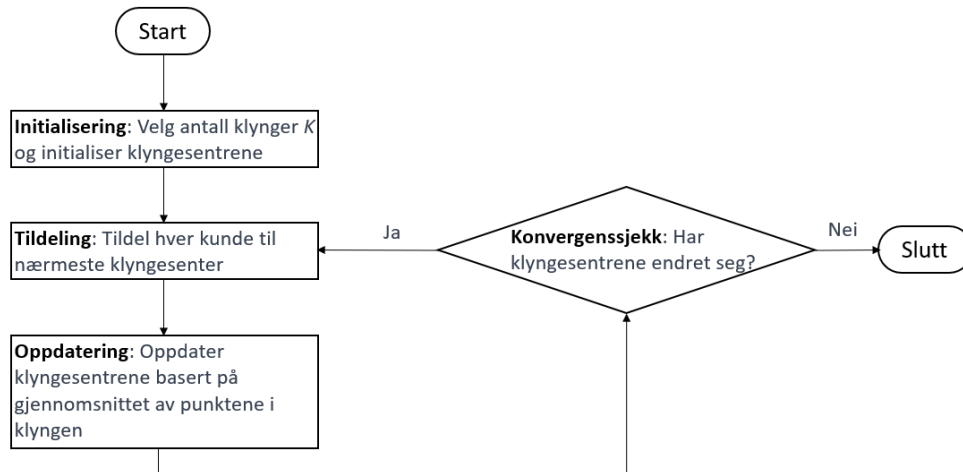
En nøkkelutfordring er å avgjøre hvordan man effektivt kan organisere og planlegge ruter for å betjene en rekke leveringssteder basert på de sendingene som skal leveres. Det er viktig å ta beslutning om antallet ruter som trengs for å sikre optimal betjening av kundene, samtidig som man balanserer kostnader og effektivitet. Bestemmelse av antall ruter før ruteplanleggingen begynner, kan hjelpe til med å forutse ressursbehov, optimalisere flåtebruk og forbedre den generelle effektiviteten i leveringstjenesten. For å hjelpe oss med denne beslutningen benytter vi K-means Clustering.

K-means Clustering er spesielt nyttig for å organisere kundesteder i håndterbare klynger for etterfølgende analyse. I denne rapporten er K-means Clustering primært brukt for å simulere ruter som ligner så nært som mulig på de virkelige observerte rutene.

Gitt strukturen på dataene og særegenhetene ved distribusjonsrutene (for eksempel ruter som betjener kunder som ligger tett), blir K-means Clustering et naturlig valg av flere grunner. For det første viser de observerte rutene, som i Grünerløkka-området, allerede en form for romlig klynging. K-means gjør at vi kan modellere denne iboende strukturen. For det andre ble 11 ruter produsert for den gitte datoen og den valgte kundeinformasjonen, noe som antyder at 11 klynger ville være en passende parameter for K-means-algoritmen basert på foreliggende data. For det tredje er ett av de primære målene å simulere rutene som nært samsvarer med map-matchede ruter. K-means, med sin vektlegging på å minimere varians innen klynger, gir en metodisk måte å oppnå dette. Videre er K-means-algoritmen beregningsmessig mindre intensiv sammenlignet med andre klyngealgoritmer, noe som gjør det enklere å implementere og skalere.

Ved å bruke K-means Clustering ønsker vi å gjenskape de reelle scenariene som observeres i de eksisterende rutene. Optimeringsanalysene foretatt i kapittel 4.2, indikerte at de nåværende distribusjonsrutene allerede er optimalisert til en viss grad, og betjener kundesett som ligger nær hverandre. For eksempel betjener rute 1 kunder i Grünerløkka-området, mens rute 3 betjener kunder i Frogner-området. Ved å segmentere kundesteder i klynger som nøye gjenspeiler disse reelle forholdene, har vi som mål å produsere en simulering som er så nøyaktig som mulig.

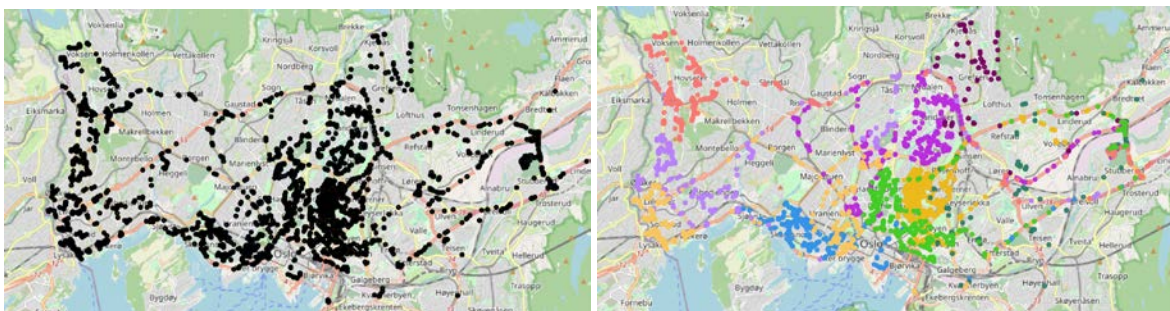




Figur 3.7: Flytdiagram over K-means klyngingsprosess for datasett med kundelokasjoner.

I Figur 3.7 starter vi prosessen med et datasett bestående av kundelokasjoner. Deretter går prosessen videre til initialiseringsfasen, hvor man bestemmer antall klynger, kjent som  $K$ , og starter med å initialisere klyngesentrene tilfeldig. Etter initialiseringen går man inn i en iterativ prosess. Først tildeles hver kunde til det nærmeste klyngesenteret. Dette er kjent som tildelingsfasen. Når alle kunder er tildelt et senter, går prosessen videre til oppdateringsfasen. Her oppdateres klyngesentrene ved å beregne gjennomsnittet av punktene i hver klynge, og dette nye gjennomsnittet blir det nye klyngesenteret. Neste skritt er en konvergenssjekk. Man sjekker om klyngesentrene har endret seg fra forrige iterasjon. Dersom sentrene har endret seg, går prosessen tilbake til tildelingsfasen. I motsatt fall, betyr det at klyngene har stabilisert seg, og prosessen avsluttes. Slik fortsetter K-means algoritmen til den finner de beste klyngene for inndataene.

Figur 3.8 illustrerer effekten av K-means Clustering for organisering av kundelokasjoner på et kart. Figuren er delt inn i to delbilder for å tydeliggjøre prosessen før og etter bruk av K-means Clustering.



Figur 3.8: Illustrasjon av hvordan K-means Clustering kan transformere en tilfeldig samling av kundelokasjoner til en strukturert og organisert gruppe av klynger, noe som letter planlegging og optimering av leveringsruter.

Før Clustering (til venstre i figuren): Delbildet viser de opprinnelige kundeposisjonene på kartet før noen form for clustering er gjennomført. Her kan man observere en tett spredning av kundepunkter, uten noen tydelig struktur eller organisering. Hver kunde er representert som et enkelt punkt, og det er ingen umiddelbare indikatorer på gruppering basert på geografisk nærhet.

Etter Clustering (høyre): I illustrasjonen kan man tydelig se resultatene etter anvendelsen av K-means Clustering. Hver farge representerer en unik klynge av kunder. Man kan observere hvordan algoritmen effektivt har gruppert kunder basert på deres geografiske nærhet. Klyngene viser tydelig hvordan

kunder i nærheten av hverandre er gruppert sammen, og gir et klart bilde av hvordan en optimalisert leveringsrute kan være organisert for å betjene kundene i hver klynge.

### 3.3.3 Ruteoptimering innen hver klynge

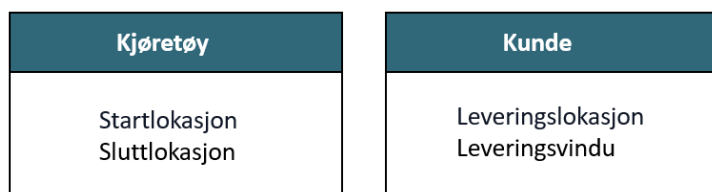
Når klyngene av kundesteder er etablert ved hjelp av K-means Clustering, er det neste trinnet å utføre ruteoptimering innen hver klynge. Ruteoptimering er en kompleks oppgave som involverer flere variabler og begrensninger, spesielt i urbane områder med tett kundekonsentrasjon, variabel etterspørsel og dynamiske tidsvinduer. For å håndtere denne kompleksiteten kan en benytte metoder fra operasjonsanalyse, og spesielt blandet heltalls lineær programmering (Mixed Integer Linear Programming, MILP). Ved å formulere ruteoptimeringsproblemet som en MILP-modell, kan man konvertere problemet til et sett av matematiske ligninger med beslutningsvariabler, målfunksjoner og begrensninger.

MILP-modellen gir en matematisk ramme som søker å løse ruteoptimeringsproblemet optimalt, ved bruk av spesialiserte solvere. Gitt inndata og de definerte begrensninger, søker modellen etter den beste mulige løsningen som minimerer de totale kostnadene, som kan være kjøretid, distanse, eller en kombinasjon av forskjellige kostnadskomponenter. For en detaljert formulering av ruteoptimeringsproblemet som en MILP-modell, henvises det til vedlegg 3. Der gir vi en omfattende beskrivelse av de matematiske ligningene som utgjør modellen, samt diskusjon omkring valget av variabler, målfunksjoner og begrensninger.

Målet med ruteoptimeringen er å simulere leveringsruter, i nært samsvar med de observerte rutene. Vi ønsker å sikre at simuleringen gjenspeiler de faktiske kjørerutene og kundebesøkene så nøyaktig som mulig.

Til ruteoptimeringsproblemet benyttes en optimeringssolver, kalt OSRM<sup>8</sup> (Open Source Routing Machine), da denne fleksibelt og nøyaktig kan modellere virkelige begrensninger og forhold. OSRM er for det første kjent for sin høye beregningsmessige effektivitet, noe som gjør den til et naturlig valg for prosjekter der tiden er en viktig faktor. For det andre, tillater OSRM en rekke parametere og begrensninger som kan tilpasses til ruteoptimeringsproblemet, inkludert tidsvinduer, lastekapasiteter og startpunkter. For det tredje har vi en antagelse om at ett stopp betjener én kunde. Antagelsen reflekterer faktisk adferd som er observert fra tidligere leveranser. OSRM gir oss dermed muligheten til å integrere realistiske begrensninger direkte inn i simuleringen. Dette sørger for at modelleringen er tett på virkelighetens leveranseprosesser.

I prosedyren for ruteoptimering forberedes inndataene til ruteoptimeringssolveren OSRM ved å benytte start- og sluttlokasjon for kjøretøy, kundeopposisjonsdata samt andre relevante parameterdata som f.eks. tidsluker, fra hver klynge (se Figur 3.9). Vedlegg 3 gir en omfattende oversikt over alle variabler og parametere som ble benyttet i modellen. Dette inkluderer elementer som kundens geografiske posisjon, leveringstidspunkter, og andre begrensninger som kan påvirke leveringsprosessen.



Figur 3.9: Inndata til ruteoptimeringssolveren.

<sup>8</sup> OSRM er en ruteberegningmotor designet spesifikt for veinett. For de som ønsker å utforske prosjektet, er OSRM tilgjengelig på [GitHub](https://github.com/Project-OSRM).

Etter forberedelse av inndata, fortsetter prosedyren med initialisering. Deretter kjøres OSRM-algoritmen for å finne den mest optimale ruten innen hver klynge, dette med tanke på alle de gitte begrensningene og parameterne. Etter at optimeringsprosessen er fullført, går man videre med validering og justering. I denne fasen blir resultatene sammenlignet med de observerte rutene for å vurdere hvor tett simuleringen matcher virkeligheten. Basert på sammenligningen kan eventuelle justeringer foretas for ytterligere å forbedre nøyaktigheten, som er diskutert i delkapittel 4.3.4.

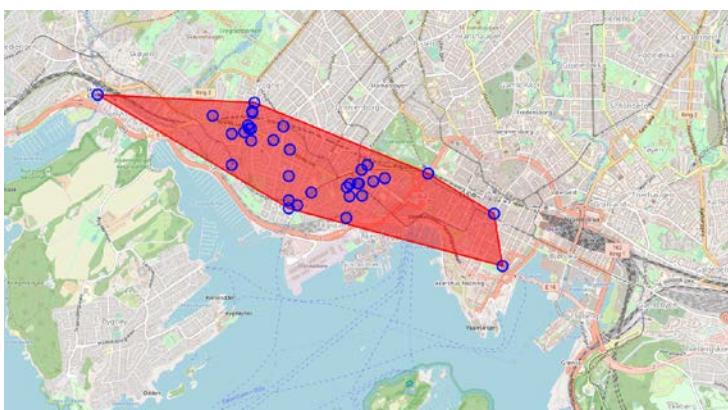
Ved å kombinere K-means Clustering for opprettelse av klynger og OSRM for ruteoptimering, sikter vi etter å skape en så virkelighetsnær simulering som mulig. Dette tillater oss å gjøre en grundig analyse av leveringsprosessen.

Vesentlig å nevne er at enkelte antagelser og begrensninger kan ha betydning for den valgte tilnærmingen. Metoden er som nevnt avhengig av flere antagelser, slik som den tidligere nevnte antagelsen om leveringsprosesser. Dersom slike antagelser ikke reflekterer virkeligheten, kan dette ha en innvirkning på simuleringens nøyaktighet. Videre er nøyaktigheten av resultater også sterkt avhengig av kvaliteten og fullstendigheten av inndataene. Til slutt er det viktig å erkjenne at mens OSRM jobber for å optimalisere ruten basert på gitte parametere, kan det hende at den ikke fullt ut vil reprodusere de faktiske forholdene i leveringsprosessen.

### 3.3.4 Validering og justering

Validering er en avgjørende del av modelleringsprosessen for å vurdere i hvilken grad de simulerte rutene samsvarer med de faktiske rutene. Ved valideringen, inndeles distribusjonsruten i tre distinkte etapper, hver med sitt eget formål og krav til evaluering.

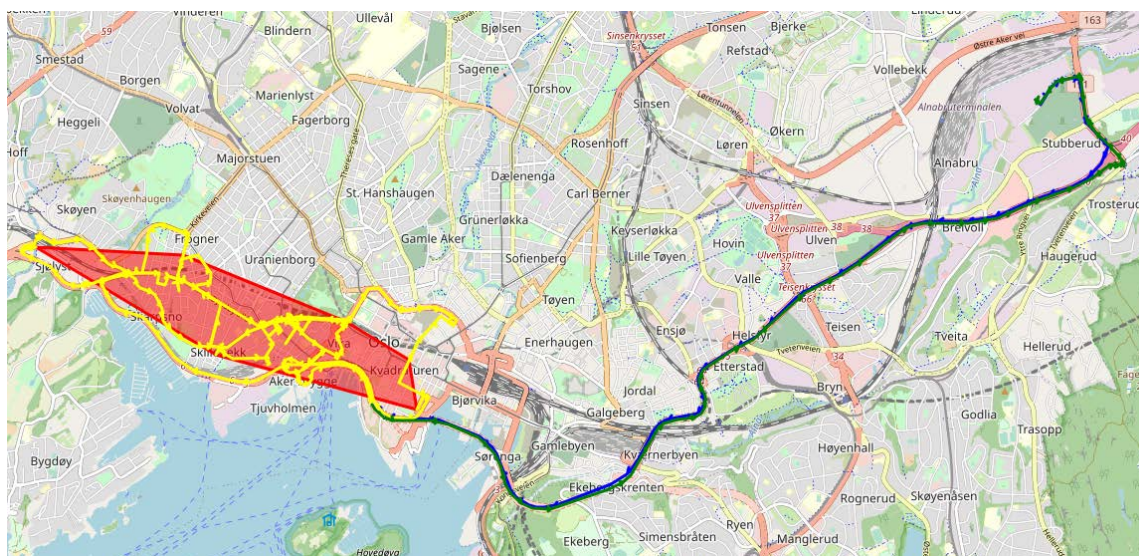
Den første etappen i distribusjonsruten, fra terminal til leveringsområde, fungerer som en innledende fase. Her er målet å etterligne virkeligheten knyttet til trafikk, veiforhold og tidsbruk så nøyaktig som mulig. Når distribusjonsbilen ankommer leveringsområdet, begynner den andre etappen. Leveringsområdet er definert som et konveks skall<sup>9</sup> basert på kundenes geografiske plasseringer. I denne etappen blir modellens evne til å etterligne den faktiske ruten vurdert, både med tanke på rekkefølgen av kundestopp og tidspunktene for hver levering. Etter å ha fullført alle leveransene, innledes den tredje og siste etappen, som innebærer reisen tilbake til terminalen. I denne delen blir det vurdert hvorvidt returreisen anses som realistisk.



Figur 3.10: Leveringsområdet til Rute 3 markert med et rødt konvekst skall, mens de blå prikkene representerer de spesifikke posisjonene til kundestoppene.

<sup>9</sup> Et "konvekst skall" beskriver den minste konvekse figuren som fullstendig omslutter et sett med punkter. I denne konteksten representerer det leveringsområdet ved å omslutte alle kundestedsposisjonene uten innbuktninger.

Vi beskriver leveringsområdet ved hjelp av et konsept kalt "konveks skall". I dette tilfellet refererer konvekst skall til den minste konvekse formen som kan tegnes rundt alle kundestedsposisjonene uten å ha noen indre vinkler større enn 180 grader. I Figur 3.10 representerer konvekst skall for rute 3 et rødt polygon. Polygonet omkranser alle leveringssteder på en slik måte at det ikke er noen bukker eller innsnevring, men i stedet en jevn, ytre grense rundt alle kundesteder. De blå punktene inne i dette røde polygonet, symboliserer geografiske plasseringer av kundene. Med dette polygonet kan vi enkelt identifisere og visualisere det totale dekningsområdet for leveranser i rute 3. Ved å benytte konvekst skall oppnår vi en forenklet, men nøyaktig representasjon av leveringsområdet. Det gir også en intuitiv forståelse av hvordan leveransene er distribuert geografisk, og hvor tett eller spredt kundene er plassert i forhold til hverandre.



Figur 3.11: Distribusjonsruten til Rute 3 i tre deler.

Som et første steg i validering av rute 3 er ruten inndelt i tre deler i Figur 3.11, som hver representerer en fase av distribusjonsruten. Det røde konvekse skallet inneholder alle kundene i den spesifikke klyngen og spesifiserer leveringsområdets grenser. Det angir geografisk hvor distribusjonsbilen skal utføre sine stopp. Den blå linjen representerer ruten fra terminalen til det definerte leveringsområdet. Den blå linjen representerer den innledende etappen av distribusjonsruten. Den gule linjen beskriver kjøreruten mellom kundene innenfor det røde konvekse skallet, og fokuserer på å gjenskape den faktiske ruteplanen så nært som mulig når den besøker de ulike kundestedene. Den grønne linjen illustrerer den avsluttende etappen av distribusjonsruten, som er returreisen tilbake til terminalen, og forsøker å gjenskape den faktiske returreisen så tett som mulig, både i forhold til tidsforbruk og valgt kjørerute. Ved å dele ruten inn i disse tre delene, kan vi mer presist validere og analysere hvor godt den simulerte ruten samsvarer med den faktiske distribusjonsruten.

Ved å visuelt sammenligne den simulerte ruten med den observerte ruten, kan vi vurdere modellens nøyaktighet. Dette gir et grunnlag for å identifisere både likheter og forskjeller. I tillegg kvantifiseres alle avvik mellom den simulerte og den observerte ruten, enten det dreier seg om avstander mellom stopp, leveringstidspunkter eller valg av rute. Modellens nøyaktighet evalueres videre ved hjelp av metrikker som Path overlap, Hausdorff Similarity, eller andre relevante statistiske målinger for å presentere ytelsen i et numerisk format.

En overlappingsmetode beregner prosentvis overlapping mellom de to rutene. La  $L_{mm}$  være linjen som representerer den observerte ruten, og  $L_{sim}$  være linjen som representerer den simulerte ruten. For å ta hensyn til små unøyaktigheter mellom de to rutene, utvider vi observert ruten med en gitt buffer-avstand  $d$ , noe som resulterer i en utvidet rute gitt ved  $B_{mm} = L_{mm} + d$ . For å finne overlappingsområdet

mellom de to rutene, beregner vi krysset mellom den utvidede observert ruten  $B_{mm}$  og den simulerte ruten  $L_{sim}$ , som er gitt ved  $I = B_{mm} \cap L_{sim}$ . Lengden av dette krysset er gitt ved  $|I|$ . Overlappingsprosenten er deretter definert som forholdet mellom lengden av overlappingen og lengden av observert rute, uttrykt som

$$P_{overlap} = \left( \frac{|I|}{|L_{mm}|} \right) \times 100 = \left( \frac{|L_{mm} + d| \cap L_{sim}|}{|L_{mm}|} \right) \times 100 \quad (1)$$

"Overlappingsprosent" gir en kvantitativ måling av hvor godt de simulerte rutene samsvarer med de observert rutene. Verdien varierer fra 0% til 100%, og tolkningen av denne verdien er som følger:

- 0% overlapping: Dette indikerer at det ikke er noen overlapping mellom den simulerte ruten og observert ruten, selv når det tas hensyn til den angitte bufferavstanden. Dette kan bety at den simulerte ruten er vesentlig forskjellig fra den observerte ruten.
- Lav overlapping (1% - 30%): En lav overlappingsprosent kan antyde at bare mindre deler av den simulerte ruten følger den faktiske observert ruten. Dette kan indikere feil i simuleringen, eller det kan reflektere betydelige avvik i reell aktivitet fra den forventede ruten, f.eks. som følge av at sjåføren følger et annet mønster enn det som optimerer rutevalget.
- Moderat overlapping (31% - 70%): Dette betyr at den simulerte ruten i stor grad følger observert ruten, men det er fortsatt betydelige deler der de to rutene ikke samsvarer. Dette kan være et resultat av variasjoner i kjøreatferd, midlertidige hindringer, leveringsvinduer eller andre uventede forhold.
- Høy overlapping (71% - 99%): Her følger den simulerte ruten hovedsakelig observert rute med mindre avvik. Dette er et tegn på en god simulering, men det kan fortsatt være rom for forbedring.
- 100% overlapping: Indikerer perfekt samsvar mellom den simulerte ruten og observert ruten, innenfor den tillatte bufferavstanden. Selv om dette er en ideell situasjon, bør det tas hensyn til å vurdere nøyaktigheten av kartdataene og vurdere eventuelle overjusteringer i simuleringen.

Ved bruk av "Overlappingsprosent" er det viktig å forstå konteksten av simuleringen og de faktiske forholdene for å tolke verdien riktig. Faktorer som kjøreatferd, trafikkforhold, værforhold og nøyaktigheten av kartdata kan alle påvirke dette målet.

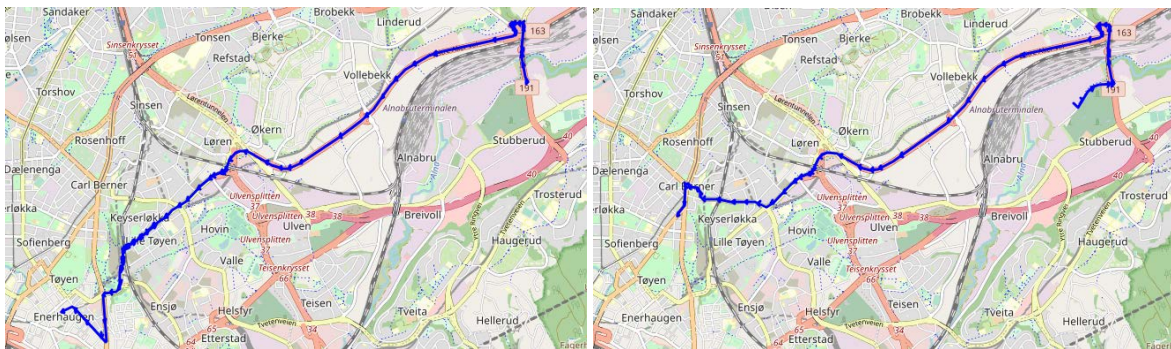
Skulle det oppstå signifikante avvik mellom modellen og den faktiske ruten, har vi implementert justeringsmekanismer. Disse kan omfatte endringer i algoritme-parametere, innføring av nye begrensninger, eller en omkalibrering av modellen basert på (ny)innsamlede data.

For å forstå nøyaktigheten og effektiviteten av simulerte ruter i forhold til observerte ruter, har vi analysert ulike ruter basert på deres optimale avstand, tid, og graden av overlapping med map-matchingsdata. Tabell 3.5 oppsummerer våre funn:

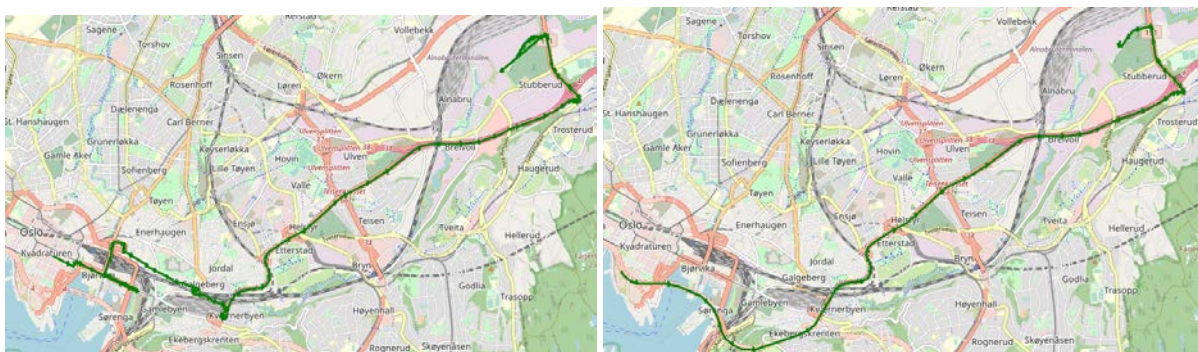
Tabell 3.5: Optimal Distanse, Tid og Overlappingsprosent for rutene.

Rute	Optimal distanse (km)	Optimal tid (timer)	Overlapp i sum (%)	Overlapp del 1(%)	Overlapp del 2(%)	Overlapp del 3(%)
Rute 1	33,9	4,6	23,3	20,3	26,3	6,4
Rute 2	52,1	5,4	47,9	80,5	26,5	13,5
Rute 3	47,7	5,5	52,5	68,9	48,8	48,3
Rute 4	32,1	2,1	41,3	99,2	41,4	8,9
Rute 5	35,5	3,2	43,8	88,4	27,3	13,3
Rute 6	26,0	2,1	55,7	76,6	11,8	85,8
Rute 7	44,4	4,8	29,6	35,0	23,3	12,9
Rute 8	49,2	4,3	38,7	45,6	24,3	83,7
Rute 9	52,7	5,8	35,7	45,2	44,2	3,4
Rute 10	43,6	5,0	23,6	19,7	14,5	42,5
Rute 11	33,2	3,7	29,7	0,0	22,3	73,4

Det framkommer at i sum varierer overlappet mellom 23 % og 56 %. Ved å bryte ned overlappingen i tre separate deler, framkommer det at visse segmenter av rutene har høyere samsvar enn andre, mens andre har lavere. Eksempelvis i figur 3.12 fremhever rute 2 en interessant observasjon når det gjelder overlapping i del 1: Et overlapp på 80,5% indikerer dette relativt høyt samsvar mellom den simulerte og den observerte ruten. Samsvar i denne grad tyder på at de viktigste veivalgene mellom de to rutene er identiske eller svært like. Ved nærmere undersøkelse ser vi at hovedveien valgt for både den simulerte ruten og den observerte ruten i stor grad er den samme, men med noen mindre avvik i veivalgene, noe som resulterer i den resterende prosentandelen av ikke-overlapping. En av hovedårsakene til avvik kan være hvordan konvekse skall er definert for disse rutene. Konveks skall kan påvirke hvordan grensene for ruten blir tolket, spesielt i områder med sammensatt eller uregelmessig form. Eventuelle unøyaktigheter eller variasjoner i definisjonen av konvekse skall kan føre til små, men bemerkelsesverdige, avvik i rutevalget. En annen viktig observasjon er at inngangspunktene, dvs. hvor ruten går inn i leveringsområdet, avviker mellom den observerte og simulerte ruten. Dette kan skyldes ulike tilnærminger til kartlegging eller ulikheter i datakildene som brukes til å bestemme optimal rute. Forskjellige tilnærminger kan medføre varierende rutevalg, spesielt hvis leveringsområdet har flere tilgjengelige veier eller komplekse trafikkmønstre. Selv om det er et betydelig nivå av overlapping for rute 2, del 1, gir den dypere analysen innsikt i hvordan og hvorfor avvik oppstår. Det er viktig å kontinuerlig vurdere og forbedre algoritmer og datakilder for å minske slike avvik og oppnå større samsvar med den observerte ruten.



Figur 3.12: Sammenlikning av observert rute (til venstre) og optimalisert rute (til høyre), del 1 av rute 2.

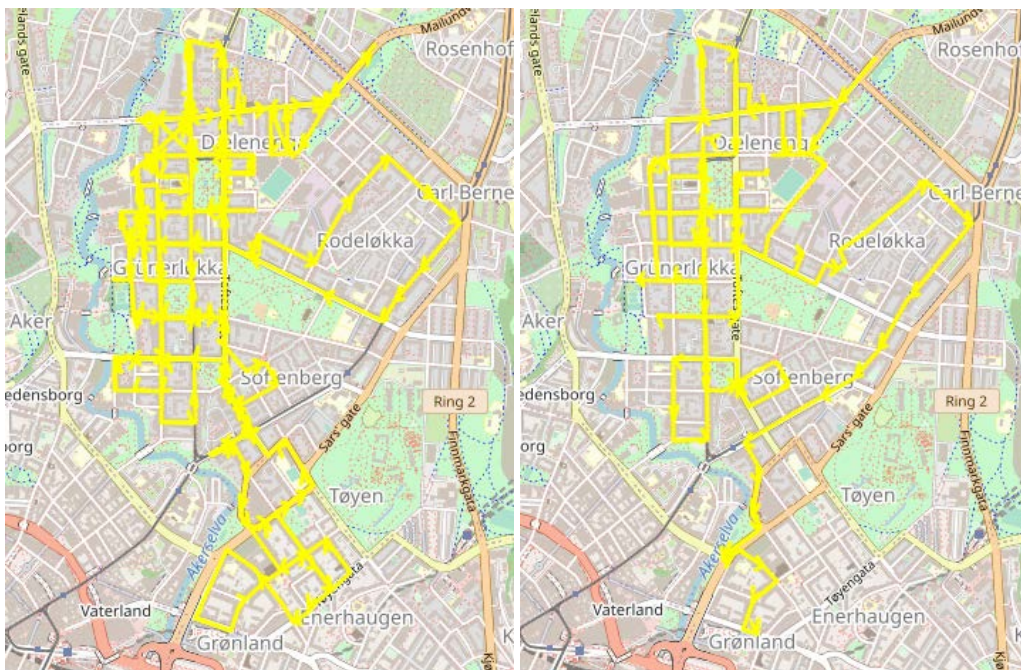


Figur 3.13: Sammenlikning av observert rute (til venstre) og optimalisert rute (til høyre), del 3 av rute 3.

For del 3 av rute 3 i figur 3.13, observerer vi en overlapping på 48,3%, noe som indikerer at nesten halvparten av den simulerte ruten følger den observerte ruten. Sammenlignet med del 1 i rute 2, hvor overlappingen var betydelig høyere, kan vi antyde noen felles og noen avvikende trekk. Selv om del 3 i rute 3 og del 1 i rute 2 går gjennom ulike byområder eller terrengetyper, kan de møte felles utfordringer. Typisk kan dette være urban støy (kjent som «urban canyoning»), f.eks. at GPS-signaler reflekteres på

grunn av tunneler eller høye bygninger, eller at det er veistenginger på grunn av veiarbeid eller trafikkhendelser. Store bygninger, spesielt de laget av metall eller andre tette materialer, kan blokkere GPS-signaler. Dette kan føre til tap av signal eller ufullstendig datainnsamling, spesielt hvis kjøretøyet passerer gjennom tunneler, under broer eller tett inntil store bygningskomplekser. Dette fenomenet oppstår når direkte GPS-signaler blandes med reflekterte signaler. I et urbant miljø med mange reflekterende overflater, som vinduer, metallflater og vann, kan GPS-mottakeren motta flere versjoner av samme signal. Dette kan forårsake forvirring og feilaktig posisjonsbestemmelse. Hvis leveransen krever at sjåføren går inn i bygninger, spesielt dype eller sentrale deler av bygningen, kan GPS-signalet bli svært svekket eller tapt helt. Dette kan føre til hull eller avbrudd i den registrerte rutedataen. Antallet og plasseringen av GPS-satellitter over himmelen kan variere gjennom dagen. I tettbygde områder kan bare en delmengde av disse satellittene være synlige for GPS-mottakeren, noe som reduserer nøyaktigheten av posisjonsdata. Mens GPS-teknologi er svært nøyaktig under ideelle forhold, kan den unike utfordringen med urban navigering i bysentrum påvirke nøyaktigheten av rutedataen. Det er derfor viktig å være oppmerksom på disse potensielle feilkildene når man tolker og handler basert på GPS-data i byområder.

Samtidig vil rutene møte unike utfordringer basert på deres respektive omgivelser. En rute som går gjennom et mer kupert eller skogkledd område, kan ha utfordringer relatert til terreng, som begrensninger i veivalg på grunn av naturlige hindringer eller endringer i rute på grunn av værforhold. Disse distinkte geografiske og strukturelle trekkene kan bidra til de observerte forskjellene i overlappingsprosent mellom de to delene. En forståelse av de spesifikke utfordringene knyttet til hvert område kan gi nyttige innsikter for fremtidige ruteoptimaliseringer. Siden del 3 i rute 3 har lavere overlapping sammenlignet med del 1 i rute 2, kan det være nyttig å undersøke datakvaliteten for begge delene. Eksempelvis kan GPS-dataene for del 3 være påvirket av mer støy, eller at kartdata for den spesifikke regionen ikke er tilstrekkelig oppdatert, som for del 1. En annen potensiell forklaring på avvik kan være optimalisering basert på ulike algoritmer eller kriterier. Et eksempel på dette kunne vært dersom del 3 i rute 3 vektla hurtighet, mens del 1 i rute 2 prioriterte drivstoffeffektivitet. Mens det er tydelige paralleller mellom del 3 i rute 3 og del 1 i rute 2, kan de forskjellige overlappingsprosentene forklares gjennom en kombinasjon av datakvalitet, dynamiske endringer på veien, og de ulike optimaliseringsmetodene som ble brukt. En grundig sammenligning av begge delene kan avsløre nyttige innsikter for fremtidige ruteoptimaliseringer.

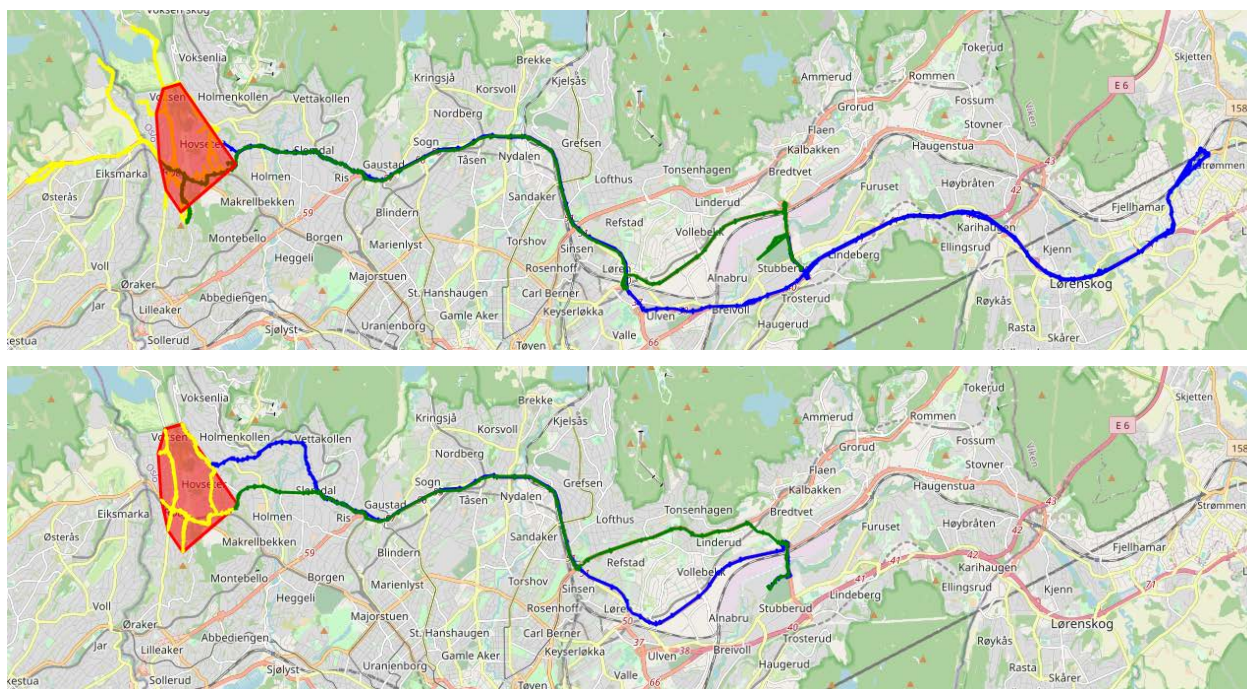


Figur 3.14: Sammenligning av observert rute (venstre rute) og optimalisert rute (høyre rute), Del 2 av Rute 1.

For del 2 i rute 1 finner vi en overlapping på 26,3% i figur 3.14, noe som indikerer betydelig avvik mellom den optimerte ruten og den observerte ruten. Del 2 i rute 1 representerer leveringsregionen, der mange utfordringer kan påvirke rutevalget. Basert på observasjonene kan vi se at observert rute kjører gjennom enkelte vegstrekninger flere ganger. Dette kan potensielt være ineffektivt og kan forårsake forvirring ved lesing og tolkning. Den optimaliserte ruten er kortere, noe som gir et mer direkte og tilsynelatende effektivt rutevalg. Flere årsaker kan bidra til dette avviket. Den faktiske kjøreruten kan være basert på spesifikke kundebehov som ikke er tatt i betraktning i den simulerte modellen. Kanskje visse kunder krever spesifikke leveringstider, eller det kan være behov for å besøke enkelte kunder flere ganger, f.eks. fordi det var flere koller enn det som ble levert på første forsøk. Det kan være områder hvor kjøring er begrenset, enten på grunn av trafikkrestriksjoner, veiarbeid, private veier, eller andre faktorer. Leveringsregionen kan ha uforutsette hindringer på dagen for levering, som for eksempel et marked eller en gatefest, et ulykkessted eller midlertidige veisperringer. Sjåføren kan lete etter hensiktsmessig sted for parkering i nærheten av leveringssted, eller rett og slett ikke finner fram til riktig leveringssted på første forsøk. Hvis en sjåfør rapporterer slike restriksjoner, men de ikke er tatt med i den optimaliserte modellen, vil dette føre til avvik i rutevalg. Kvaliteten og nøyaktigheten av kartdataene kan også spille en rolle. Utdaterte eller upresise kartdata kan medføre feilaktige rutevalg i den optimerte modellen.

Kartdata danner grunnlaget for ruteoptimalisering, navigasjonssystemer, og mange andre geografisk baserte applikasjoner. Mens basis kartdata ofte gir grunnleggende veiinformasjon, topografi, og kjente landemerker, kan det ofte mangle nyanserte detaljer som er avgjørende for presis navigering, spesielt i komplekse urbane miljøer. Her er noen måter å forbedre kartdatakvaliteten på ved å integrere eksterne kilder. Gjennom integrering av sanntids trafikkinformasjon kan kartdataene gi informasjon om trafikkork, veiarbeid, ulykker, og andre forhold som kan påvirke kjøretid og rutevalg. Dette kan være spesielt nyttig for yrkessjåfører og andre som opererer under tidssensitive forhold. Moderne teknologi tillater brukere å rapportere veiforhold, hindringer, og andre relevante data direkte fra mobile enheter. Plattformen som [Waze](#) og [Google Maps](#) benytter slike data for å oppdatere sine kart i sanntid. Ved å analysere historiske data, som tidligere trafikkmønstre, værforhold, eller spesielle arrangementer, kan systemer forutsi potensielle utfordringer og justere ruteplanleggingen deretter. Avanserte bilder fra satellitter eller droner kan fange nylige endringer i landskapet, som nybygg, veiendringer, eller naturskader, som kanskje ikke er reflektert i tradisjonelle kartdatabaser. Moderne biler og nyttekjøretøy kan være utstyrt med sensorer som kan samle data om veiforhold, som hull i veien, overflateruhet, eller til og med trafikkflyt. Dette kan bidra til å forbedre kartets nøyaktighet og relevans. Lokale og regionale myndigheter har gjerne detaljerte databaser over infrastrukturprosjekter, planlagte veiarbeid, eller andre relevante hendelser som kan påvirke trafikken. Å sørge for kvaliteten på kartdata er avgjørende for nøyaktig og effektiv navigering. Ved kontinuerlig å integrere og oppdatere disse dataene med informasjon fra en rekke eksterne kilder, kan man sikre at kartet gir mest mulig oppdatert, relevant, og nøyaktig informasjon til sine brukere. Overlappingsprosenten for del 2 av Rute 1 belyser de mange faktorene som kan påvirke rutevalget, spesielt i en leveringsregion. For å oppnå høyere nøyaktighet og effektivitet er det avgjørende å ha en helhetlig forståelse av både kundebehov og terrengforhold, samt å sikre kontinuerlig oppdatering og kommunikasjon mellom alle involverte parter.





Figur 3.15: Sammenlikning av observert rute (øverst) og optimalisert rute (nederst), Rute 10.

For Rute 10 i figur 3.15, viser dataene en samlet overlappning på 23,6%. Med en overlappning på 19,7% for del 1 og 14,5% for del 2, er det tydelig at den simulerte ruten avviker vesentlig fra den observerte ruten. Dette kan være resultatet av flere faktorer. En av de mest bemerkelsesverdige observasjonene fra figuren er at den observerte ruten kjører til steder der det ikke er noen kundeplasseringer (utover konveks skall). Dette kan være et resultat av manglende deteksjon av primærstopp i tidligere trinn. Hvis noen stopp eller leveringssteder ikke blir registrert riktig, kan den simulerte ruten være basert på ufullstendige eller feilaktige data. Det er også mulig at den faktiske ruten avviker fra den simulerte og optimale ruten på grunn av individuelle preferanser, kjennskap til lokale veier, eller forsøk på å unngå kjente problemområder. Forhold som midlertidig veiarbeid, nylige trafikkulykker, eller uforutsigbare hendelser, kan ha ført til avvik i ruten. Den signifikante forskjellen mellom den observerte og den simulerte ruten er sannsynligvis et resultat av en kombinasjon av manglende datadeteksjon, potensielle feil i GPS-data, dynamiske endringer i veiforhold, og eksterne forstyrrende faktorer. En grundig revisjon av datakvaliteten og algoritmer for ruteplanlegging kan bidra til å minske slike avvik i fremtiden.

Det er viktig å merke seg noen begrensninger i denne prosessen. Valideringsresultatene er sterkt avhengige av kvaliteten og tilgjengeligheten av data; upresise eller mangelfulle data kan svekke valideringsprosessen. Videre kan validering være tidkrevende, spesielt hvis flere iterasjoner og justeringer er nødvendig for å forfine modellens nøyaktighet. Men ved å nøye følge denne validerings- og justeringsprosedyren, sikrer vi at vår simuleringmodell reflekterer den faktiske situasjonen så nært som mulig, noe som er essensielt for dens pålitelighet og relevans.

### 3.3.5 Eksakt versus simulert lokasjon

Når det gjelder bestemmelse av leveringslokasjoner, står vi overfor en utfordring: Kundestedene er gjerne bare tilgjengelig på postnummernivå, i stedet for eksakte geografiske koordinater. Dette gir en begrensning med hensyn til presisjonsnivået i våre simuleringermodeller, siden et postnummerområde kan dekke et relativt stort geografisk område, spesielt i mindre tettbebygde strøk.

For å overkomme denne begrensningen, foreslår vi en tilnærming der vi velger et tilfeldig punkt innenfor et angitt postnummerområde som en 'simulert lokasjon'. Dette valget kan baseres på en kombinasjon av geografiske data og tilgjengelig informasjon om postnummerområdets utstrekning. Denne

metoden tillater oss å konvertere et større postnummerområde til en mer presis og håndterbar lokasjon. Selv om dette punktet kanskje ikke nøyaktig representerer det faktiske leveringspunktet, gir det en representativ plassering innenfor det aktuelle området, noe som er essensielt for ruteoptimeringsmodellen. Når den simulerte lokasjonen er bestemt, blir den deretter integrert i vår overordnede optimeringsmodell. Dette sikrer at hver levering, selv om de er basert på et generelt postnummer, tas med i beregningene og analysene, og dermed sikrer en mer helhetlig og realistisk simulering av distribusjonsruten.

Det er viktig å påpeke at selv om denne metoden gir en løsning på problemet med manglende nøyaktige koordinater, kan den også introdusere en viss grad av usikkerhet i simuleringene. For eksempel kan det simulerte punktet ligge nærmere eller lenger unna terminalen enn det faktiske kundestedet, noe som kan påvirke den beregnede ruten. Likevel vurderer vi denne tilnærmingen som den mest pragmatiske gitt de tilgjengelige dataene.

Ved å bruke disse metodene kan vi navigere gjennom det komplekse landskapet av potensielle distribusjonsruter, og rekonstruere ruter som er tilpasset de variablene vi står overfor i urbane logistikk-systemer. Dette tilbyr en ny tilnærming til ruteoptimering som tar hensyn til leveringsinformasjon.

Alternativt til å generere et tilfeldig valgt sted innenfor en postnummersone, kan man skille mellom om leveransen er B2B eller B2C. For B2B kan man f.eks. benytte data fra enhetsregisteret til Brønnøysund, som inneholder informasjon om bedriftenes adresser for ulike næringskategorier. For levering B2C kan man benytte befolkningsinformasjon fra SSBs rutenettdata<sup>10</sup>, som er tilgjengelig ned til 250 meters ruteoppløsning. I begge tilfeller er det mulig å beregne hva som er mest sannsynlig tyngdepunkt innenfor hver postnummersone, eller grunnkrets.

---

<sup>10</sup> <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/areal/artikler/kart-og-geodata-fra-ssb#rutenett>

## 4 Mobile tjenesteytere i RVU 2018/19

I dette kapitlet er fokus på å forsøke å identifisere mobile tjenesteytere i RVU 2018/19. Mobile tjenesteytere er personer med yrker som krever reiser fordi arbeidsoppgavene i hovedsak utføres for kunder/brukere/oppdragsgivere på ulike adresser. Vi går imidlertid enda mer spesifikt til verks her, med å forsøke å identifisere mobile tjenesteytere i RVU som oppgir at de kjører varebil som bilfører.

### 4.1 Identifisering av mobile tjenesteytere

I RVU 2013/14 ble det benyttet en firesifret yrkesklassifisering for yrkesaktive respondenter, og denne variabelen ble brukt til å identifisere mobile tjenesteytere. RVU 2018/19 bruker imidlertid en grovere bransjekode hvor flere av kategoriene inneholder en miks av mobile tjenesteytere og andre yrkesgrupper. Mobile tjenesteytere er derfor her identifisert basert på rapporterte reiser ved bruk av en detaljert variabel for reisehensikt.

Reiser hvor formålet er mobil tjenesteyting vil finnes under kategorien tjenestereiser, som utgjør tre prosent av alle daglige reiser, og 3,4 prosent av bilførernes reiser (tabell 4.1). Tjenestereisene utgjør en relativt liten del av de daglige reisene, og har dermed få observasjoner i RVU.

Reiser hvor formålet er mobil tjenesteyting er en underkategori av tjenestereisene med betegnelsen «Serviceoppdrag, konsulentbistand, håndverksoppdrag, oppdrag hos kunde/klient (f.eks. som jurist, hjemmesykepleier, hjemmehjelper)». Denne kategorien reiser utgjør 25 prosent av tjenestereisene og 31 prosent av tjenestereisene som bilfører. Bilandelene er høye for tjenestereiser, og spesielt for mobile tjenesteytere (tabell 4.2).

Tabell 4.1: Hovedkategoriene av reiseformål i RVU 2018/19. Fordeling for reiser og for bilførernes reiser (prosent).

Hovedkategorier av reiseformål	Alle reiser	Bilførere
1 Til/ fra arbeid	21,1	23,0
2 Til/ fra skole/ studiested	3,5	0,6
3 Tjenestereise	3,0	3,4
4 Handle/ service	28,1	32,4
5 Omsorg/ følge	9,2	14,4
6 Fritid og besøk	33,2	24,8
8 Annet	1,8	1,4
Total	100,0	100,0

Tabell 4.2: Hovedtransportmiddel for alle tjenestereiser og for underkategorien mobile tjenesteytere. RVU 2018/19 (prosent).

Hovedtransportmiddel	Alle tjenestereiser	Mobile tjenesteytere
1 Til fots	9,9	4,5
2 Sykkel	2,0	1,0
3 Bilfører	59,9	73,7
4 Bilpassasjer	9,9	14,6
5 Kollektivt	16,9	5,7
6 MC/ annet	1,3	0,5
Total	100,0	100,0

Reiser med mobil tjenesteyting er en liten kategori med få registrerte reiser i RVU. Det er dermed også et lite antall personer som rapporterer denne type reiser.

Av alle yrkesaktive i RVU 2018/19, har 1 prosent registrert én eller flere reiser som mobil tjenesteyter og bilfører. Disse representerer trafikkarbeidet med bil. Andelen mobile tjenesteytere totalt er noe høyere, da det finnes en del mobile tjenesteytere som passasjerer i bilene, og noen som reiser kollektivt, til fots eller på andre måter (tabell 4.2).

Tabell 4.3 viser bransjetilknytning for personer over 18 år i RVU 2018/19, beregnet som andel i hver kategori som både har registrert reiser som mobil tjenesteyter og som i tillegg er bilfører.

Tabell 4.3: Bransjetilknytning for personer over 18 år i RVU 2018/19. Andel i hver kategori som har registrert reiser som mobil tjenesteyter og bilfører (prosent).

Bransjetilknytning	Yrkestilknytning og bransje	Mobile tjenester som bilfører
1 Varehandel	5,6	0,8
2 Industri	6,0	0,5
3 Undervisning	8,1	0,1
4 Bygge- og anlegg	6,1	3,3
5 Transport og lagring	1,9	0,5
6 Informasjon og kommunikasjon	3,6	0,7
7 Kultur og underholdning	1,7	0,4
8 Finansierings- og forsikringsvirksomhet	2,2	0,6
9 Overnattings- og serveringsvirksomhet	1,2	0,2
10 Offentlig administrasjon og forvaltning	4,5	1,0
11 Jordbruk, skogbruk og fiske	1,7	0,6
12 Helse- og sosialtjenester	11,4	0,9
13 Annen tjenesteyting	4,7	2,0
98 Annet/ ukjent	9,1	1,9
99 Ikke yrkesaktiv (helt el. midlertidig)	32,1	0,1
Total	100,0	0,8

Andelen mobile tjenesteytere ville også være høyere om vi kunne medregnet de som av ulike grunner ikke reiste med tjenesteformål på registreringsdagen. Som vi ser i tabell 3, blir bransje-/yrkeskategoriseringen i RVU 2018/19 for grov til å skille ut gruppen mobile tjenesteytere basert på opplysningene om personenes yrkestilknytning.

Materialet basert på reisene og med informasjon om detaljert reiseformål for bilførere, kan likevel brukes til et estimat på trafikkarbeid utført av mobile tjenesteytere i RVU 2018/19. Tabellene i neste avsnitt viser de mobile tjenesteyternes andeler av beregnet trafikkarbeid med bil.

## 4.2 Trafikkarbeid, mobile tjenesteytere

Blant befolkningen og befolkningens reiseformål utgjør de mobile tjenesteyterne og reiser med dette formålet, et mindre omfang med rundt 1 prosent av reisene i RVU 2018/19. Men for bruken av bilene og reiselengder som bilfører er mer omfattende. Gjennomsnittlig samlet kjørelengde pr dag var 23 km for alle bilførere, men hele 123 km for de mobile tjenesteytere. Avgrensnes materialet til reisekjedene hvor mobil tjenesteyting inngår, er gjennomsnittlig reiselengde 113 km pr dag. Dette utvalget av reiser er benyttet i tabell 4.4. Vi ser at disse bilturene utgjør nærmere 4 prosent av samlet trafikkarbeid med bil. Tar vi med alle bilturer utført av mobile tjenesteyterne uansett type reisekjede, blir andelene noe høyere (tabell 4.5).

Vi tror anslagene for mobile tjenesteyteres trafikkarbeid er lave, noe vi også har sett i tidligere RVU. I tidligere RVU har man antatt at én av årsakene var at yrkesklassifiseringen som benyttes egner seg dårlig til å skille ut mobile tjenesteytere. I disse tallene fra RVU 2018/19 hvor reisehensikt er brukt som basis, vil forklaringen ligge i rapporteringen av reiser med mobil tjenesteyting som formål. Mulige årsaker til underrapportering kan være:

- Grupper med lavere utdanning er generelt underrepresentert i RVU, noe som også kan slå ut i underrepresentasjon av mobile tjenesteytere (vi antar at det ikke er så stor andel høyt utdannede blant disse).
- Arbeids- og tjenestereiser kan være underrapportert av grupper som kjører mange slike turer hver dag.

Tabell 4.4: Trafikkarbeid i reisekjeder som inneholder mobil tjenesteyting. Prosentandel av totalt trafikkarbeid pr byområde og totalt for RVU 2018/19.

Byområde	Alle ukedager	Virkedager (mandag-fredag)
1 Osloområdet	2,2%	2,9%
2 Bergensområdet	2,5%	2,7%
3 Trondheimsområdet	2,0%	2,5%
4 Nord-Jæren	2,2%	2,1%
5 Kristiansandsregionen	2,3%	3,1%
6 Buskerudbyen	2,3%	2,7%
7 Nedre Glomma	2,6%	3,4%
8 Grenland	1,5%	1,9%
9 Tromsø	3,4%	4,6%
10 Resten av landet	5,1%	6,1%
Total	3,8%	4,6%
Byområdene samlet	2,3%	2,8%

Tabell 4.5: Trafikkarbeid i reisedagbøker som inneholder mobil tjenesteyting. Prosentandel av totalt trafikkarbeid pr byområde og totalt for RVU 2018/19.

Byområde	Alle ukedager	Virkedager (mandag-fredag)
1 Osloområdet	2,4%	3,1%
2 Bergensområdet	2,8%	3,2%
3 Trondheimsområdet	2,1%	2,7%
4 Nord-Jæren	2,6%	2,5%
5 Kristiansandsregionen	2,5%	3,3%
6 Buskerudbyen	2,4%	2,6%
7 Nedre Glomma	3,0%	3,8%
8 Grenland	1,6%	2,1%
9 Tromsø	3,8%	5,1%
10 Resten av landet	5,2%	6,0%
Total	4,0%	4,7%
Byområdene samlet	2,5%	3,1%

Videre framkommer det at andelen som de mobile tjenesteyterne utgjør av trafikkarbeidet er høyere på virkedager enn i snitt over alle ukedager. Dette gjelder både i andel av samlet trafikkarbeid med bil og andel av alle bilturer utført av mobile tjenesteyterne uansett type reisekjede.

## 5 Varebilmatrise

*Dette kapittelet omfatter dokumentasjon av arbeidet med å etablere en varebilmatrise til bruk i transportmodellen RTM23+. Det gis en kort presentasjon av den regionale persontransportmodellen for Oslo og Akershus, samt etterspørselsgenereringsmodellen Tramod\_by, valideringsdata fra bomringsystemet i Oslo, resultater og anbefaling for bruk.*

### 5.1 RTM23+ og Tramod\_by

RTM23+ er en regional persontransportmodell som omfatter Oslo, Akershus samt nærliggende kommuner. En regional persontransportmodell produserer korte personreiser under 70 km én vei fordelt på ulike reisehensikter og transportformer ved bruk av etterspørselsmodellen Tramod by.

Det produseres turer for transportformene bilfører, bilpassasjer, kollektiv, sykkel og gange. Turene er segmentert i seks ulike reisehensikter. Disse reisehensiktene er arbeidsreiser, tjenestereiser, arbeidsplassbaserte rundturer, fritidsreiser, private æren og reiser knyttet til henting og levering av personer. I tillegg produserer den regionale persontransportmodellen skolereiser til og fra norske grunnskoler, videregående skoler og høyskoler og universiteter. Disse skolereisene produseres ikke i etterspørselsmodellen Tramod\_by, men i en egen skolemodell.

En regional persontransportmodell produserer bare personreiser under 70 km én vei for de omtalte reisehensiktene. Modellen produserer bare trafikk mellom norske soner utført av bosatte i Norge. For at modellen i størst mulig grad skal inneholde totaltrafikk på veiene, og således kunne gi realistiske anslag på trafikkbelastning, køer og tidsforsinkelser, tar den regionale modellen inn turmatriser fra andre datakilder for å komplettere bildet. De viktigste bidragene kommer fra den nasjonale persontransportmodellen som produserer lange personreiser over 70 km én vei og nasjonal godstransportmodell, som produserer tonnmengder og lastebilturer fra og til norske kommuner og terminaler.

De regionale persontransportmodellene, nasjonal persontransportmodell og nasjonal godstransportmodell er tre transportmodellsystemer som til sammen, i all hovedsak, omfatter det aller meste av trafikken på norske veier. Det er imidlertid enkelte bidrag som savnes i modellene, og som kan utgjøre vesentlige bidrag i enkelte områder. Slike bidrag tas gjerne inn som statiske turmatriser som legges til modellproduserte turer:

- For områder i grensetraktene er persontrafikk til og fra Sverige viktige bidrag som i utgangspunktet ikke omfattes av modellene siden modellene kun beregner etterspørsel mellom norske soner fra bosatte i Norge.
- Reiser til og fra norske flyplasser legges også til som en fast turmatrise. Flyreiser til og fra utlandet omfattes ikke av de norske persontransportmodellene, men delreiser til og fra norske flyplasser legges altså til som en fast turmatrise.
- Det er også enkelte andre bidrag som mangler i modellene. Godsmodellen omfatter i hovedsak godstransport utført av lastebiler. Det er imidlertid også en del varedistribusjon utført av lette kjøretøy som ikke omfattes av godsmodellen.
- Persontransportmodellene mangler en del trafikk fra de såkalte mobile tjenesteyterne. Dette kan typisk være håndverkere som snekkere, elektrikere og rørleggere som reiser til og fra oppdrag med bilen tidvis full av utstyr og materialer.

Varedistribusjon og mobil tjenesteyting foregår i stor grad ved bruk av varebiler. Man antar at modellene mangler vesentlige bidrag fra varebiler. Dette er bakgrunnen for oppdraget med å etablere en varebilmatrise for transportmodellen RTM23+.

## 5.2 Bompasseringsdata

For å kunne etablere en varebilmatrise er man avhengig av gode datakilder som sier noe om trafikk-omfanget fra varebiler for området man skal etablere matrise for. Gode datakilder for dette formålet har vært og er fremdeles mangelvare for det meste av landet. Men for Oslo har vi i forbindelse med dette prosjektet mottatt bompasseringsstatistikk som gjør det mulig å etablere og validere en varebilmatrise for det sentrale østlandsområdet.

Bompasseringsstatistikken består av detaljerte passeringstall på timesnivå for hver enkelt bomstasjon i Oslo for perioden 1. til 8. mars 2023. Passeringene er fordelt på ulike takstgrupper. Elektriske varebiler er en egen takstgruppe i Oslos bomsystem, og statistikken gir oss dermed verdifull innsikt om trafikk-omfanget for elektriske varebiler i Osloområdet.

Statistikken viser at det i gjennomsnitt passerte i underkant av 1.1 millioner lette biler i bomringene pr virkedøgn i første uka av mars 2023. Elektriske varebiler utgjorde i underkant av 30 tusen av disse passeringene. Dette tilsvarer omtrent 2.7%. Andelen elektriske varebiler var størst i indre ring med omtrent 3.3 %. I Osloringen var andelen omtrent 2.4 %, mens andelen i bygrenseringen var omtrent 2.0 %.

I tillegg til denne detaljerte statistikken har vi også mottatt aggregerte trafikktall for november 2022 som består av antall passeringer i hver av de tre bomringene fordelt på detaljerte kjøretøygrupper, der varebiler er en egen gruppe. Denne statistikken viser at varebiler sto for 19.1 % av antall passeringer for lette kjøretøy i indre ring i november 2022. For bygrensen og Osloringen var andelen varebiler 18 %.

Ved å kombinere den detaljerte statistikken for elektriske varebiler og den aggregerte statistikken for varebiler kan vi utlede et grovt anslag på antall varebiler som passerer hver enkelt bomstasjon pr virkedøgn. Dette gjøres ved å oppjustere passeringstallene for elektriske varebiler med en fast faktor for hver bomring slik at de i sum tilsvarer andel varebiler for gitt bomring.

I mangel av bedre alternativer forutsetter vi dermed at de elektriske varebilene fordeler seg likt over bomstasjonene i en gitt bomring som øvrige varebiler. Dette er naturligvis en forenkling, men anses å være en rimelig antakelse på overordnet nivå.

## 5.3 Turmatrise

Varebiler disponeres i stor grad av mobile tjenesteytere og distributører. Mobile tjenesteytere er personer og bedrifter som driver i håndverker- og serviceyrker. Ifølge Statistisk Sentralbyrå sin varebilundersøkelse<sup>11</sup> ble det kjørt i overkant av 7.3 milliarder vognkilometer med varebil i 2018. Håndverker- og serviceyrker sto for omtrent 46 % av dette trafikkarbeidet, mens varedistribusjon og linjetransport sto for omtrent 16 %. Resten av trafikkarbeidet på omtrent 37 % var knyttet til privat kjøring.

For å etablere en varebilmatrise er det naturlig å tilpasse med utgangspunkt i eksisterende turmatriser. Privat kjøring med varebil skal i prinsippet fanges opp i RVU på lik linje som personbiltrafikken. Turmatrisene som produseres i Tramod bør slik sett reflektere trafikkstrømmer med varebiler brukt til privat kjøring. Trafikken fra mobile tjenesteytere bør nok også i grove trekk samsvare med trafikken produsert i Tramod. Befolkningen er dimensjonerende for trafikken som produseres for en gitt grunnkrets, og befolkning og antall arbeidsplasser er viktige attraksjonsvariable for reisemål. Vi har derfor antatt at turmatrisene fra Tramod også kan danne utgangspunkt for varebilmatrisens andel av reiser knyttet til mobile tjenesteytere.

<sup>11</sup> <https://www.ssb.no/statbank/list/transpsg>

Turmatrisen for varedistribusjon som er etablert basert på GPS-data fra varebiler til en stor distributør, er brukt som utgangspunkt for andelen varebiltrafikk knyttet til varedistribusjon og linjetransport. Denne matrisen vil ha en del skjevheter siden datagrunnlaget er begrenset til en stor distributør. Dette innebærer at man vil kunne få i overkant store bidrag i nærheten av der distributøren er lokalisert og tilsvarende lave bidrag i andre områder. Vi har derfor valgt å nedjustere bidraget fra denne matrisen med 50 %.

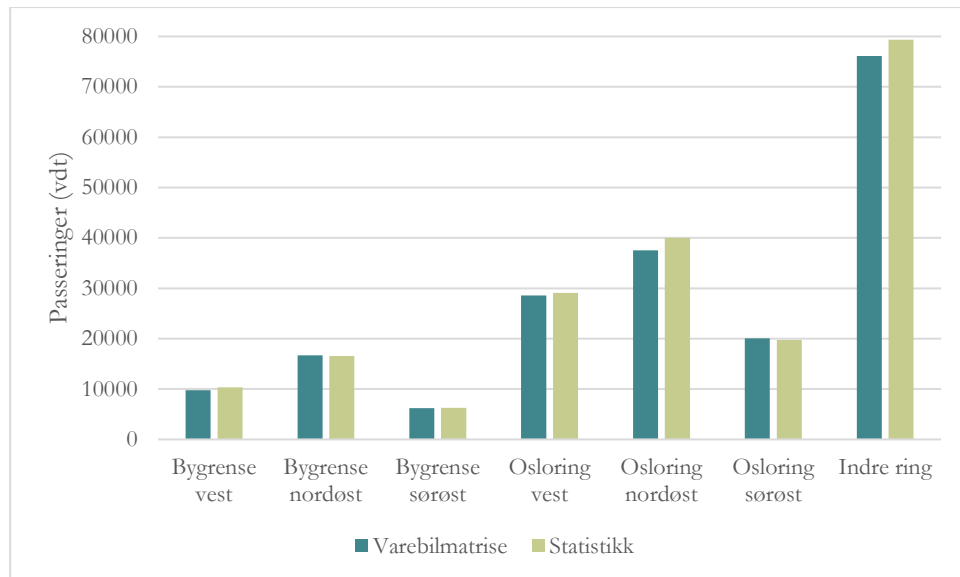
Dette innebærer at utgangspunktet for varebilmatrisen i all hovedsak stammer fra Tramod. Kun i overkant av 8 % av trafikkarbeidet for varebiler stammer fra matrisen for varedistribusjon, mens nær 92 % stammer fra turmatrisene fra Tramod.

Varebilmatrisen er justert slik at den summert over alle bomstasjonene i Oslo bomsystem gir ønsket antall bompasseringer for varebiler. Den er videre kalibrert for å gi bedre samsvar for enkeltstasjoner og enkeltringer.

### 5.3.1 Finkalibrering mot bomdata

Varebilmatrisen er kalibrert for å gi best mulig samsvar med kalibreringsgrunnlaget vi har etablert fra bompasseringsstatistikken ned på enkeltstasjoner i bygrenseringen og Osloringen. Kalibreringen er gjennomført ved bruk av selectedlink-analyser. Vi finner hvilke reiserelasjoner som passerer de ulike bomstasjonene i Osloringen, og multipliserer turmatrisen med en beregnet faktor for disse reiserelasjonene slik at antall passeringer i størst mulig grad samsvarer med kalibreringsgrunnlaget. Den beregnede faktoren varierer fra 0.47 til 1.85.

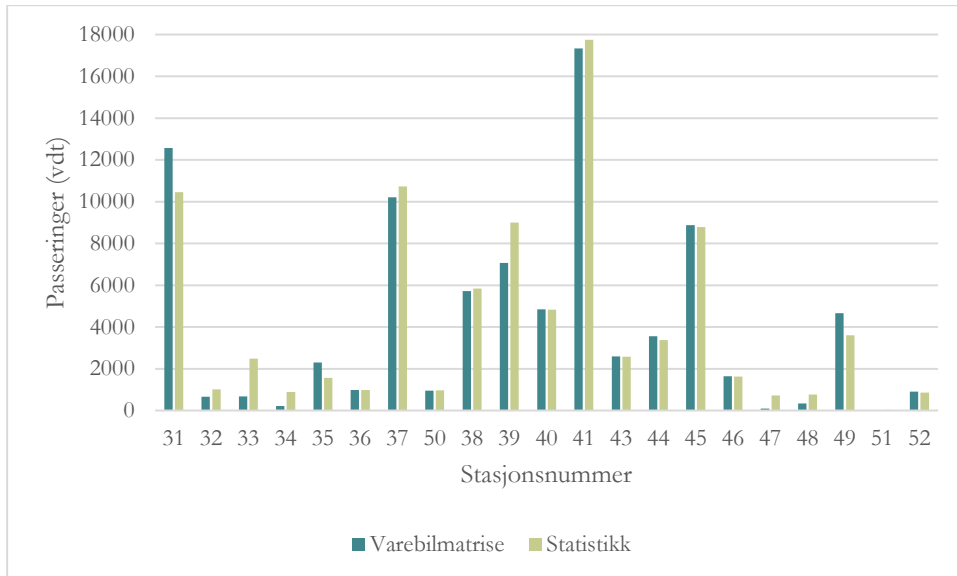
Figur 5.1 viser samlet antall bompasseringer for de ulike bomringene når man har nettfordelt varebilmatrisen og sammenstilt mot kalibreringsgrunnlaget utarbeidet fra bompasseringsstatistikken.



Figur 5.1. Bompasseringer med varebil pr virkedøgn.

Vi ser at matrisen gir bra samsvar mot kalibreringsgrunnlaget på aggregert nivå. Figur 5.2 viser antall bompasseringer i bomstasjonene i Osloringen. Her er matrisen kalibrert for å treffe kalibreringsgrunnlaget, og gir naturlig nok rimelig bra samsvar mot kalibreringsgrunnlaget for de fleste bomstasjonene.

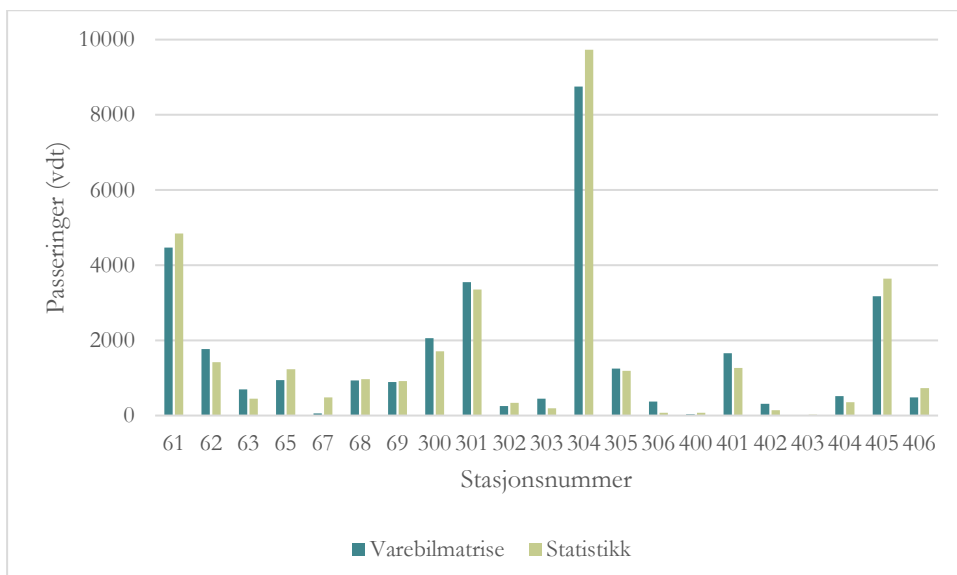




Figur 5.2. Bompaseringer med varebil i Osloringen pr virkedøgn.

Vi ser at på detaljert nivå er det også enkelte avvik. Dette gjelder spesielt stasjon 31-33 som skyldes rutevalg der modellen gir for lite avkjøring fra E18 på Skøyen og for mye på Bygdøy-lokket. Tilsvarende rutevalgsproblematikk er knyttet til bomstasjonene 34 og 35 som ligger tett i henholdsvis Fritjof Nansens vei og Sørkedalsveien. Matrisen gir også for mye trafikk i bomstasjon 49 som ligger på E18 Mosseveien, og tilsvarende for lite trafikk i stasjon 47 og 48 som er henholdsvis Ekebergveien og Kongsveien.

Figur 5.3 viser antall bompaseringer i bomstasjonene i bygrenseringen. Også her er det rimelig bra samsvar mot kalibreringsgrunnlaget selv om avviket nok er noe større for bygrensen siden matrisen i utgangspunktet er kalibrert for å treffe Osloringen.

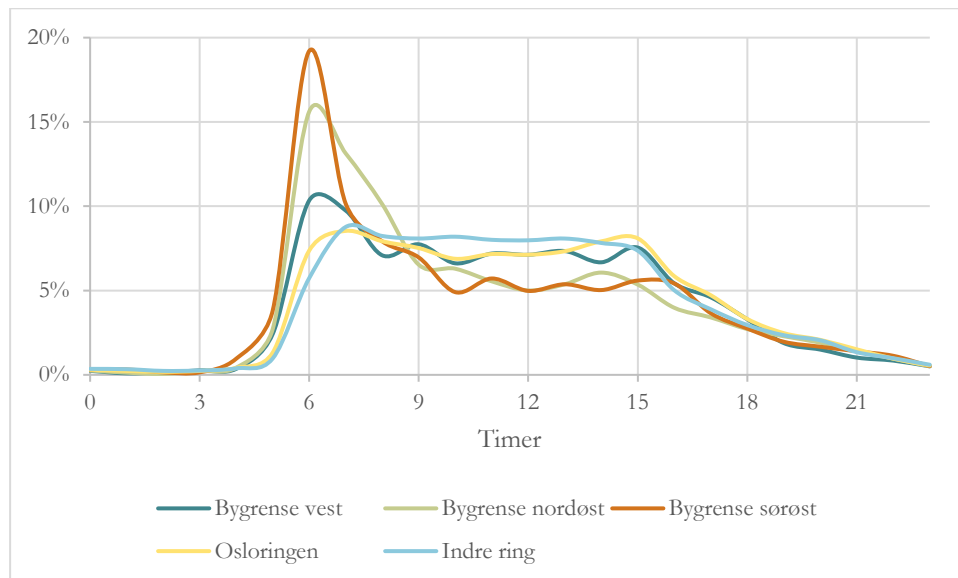


Figur 5.3. Bompaseringer med varebil i bygrenseringen pr virkedøgn.

Varebilmatrisen er nettfordelt i transportnettverket for region øst, og er fordelt uten hensyn til tidsforsinkelser grunnet kø og kapasitetsbegrensninger i veinettet.

### 5.3.2 Fordeling over døgnet

Figur 5.4 viser andel bompasseringer utført av de elektriske varebilene i ulike bomringer fordelt over virkedøgnet.



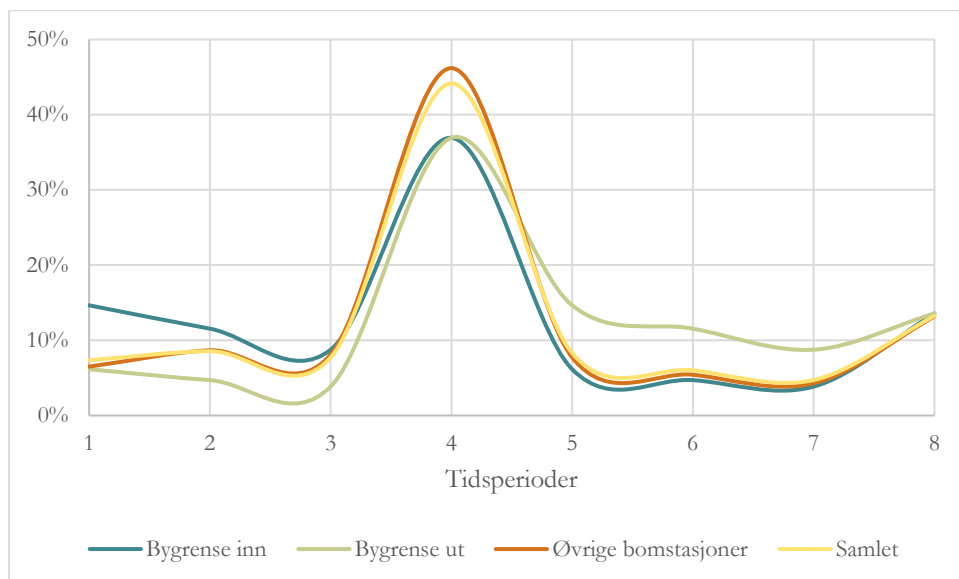
Figur 5.4.: Andel bompasseringer med varebil fordelt over virkedøgnet

Figuren viser en tydelig rushtidstopp i morgenrushet for bygrenseringen. Toppen er størst for time 6 som er timen mellom 0600 og 0700 på morgenen. Bygrenseringen har enveis innkreving i retning Oslo sentrum, og dermed får man en høy andel passeringer i morgenrushet. Dette gjelder spesielt for bygrensen mot sørøst og nordøst.

Osloringen og indre ring har toveis innkreving. Vi ser antydning til rushtidstopper for morgen og ettermiddag for Osloringen, men trafikken her fordeler seg ganske jevnt over dagen både i Osloringen og spesielt i indre ring.

Det er viktig å understreke at datagrunnlaget er begrenset all den tid vi her snakker om passeringer med elvarebil for seks virkedøgn i starten av mars. Det vil derfor være stor grad av usikkerhet knyttet til hvor representative disse bomdataene er når det gjelder passeringenes fordeling over døgnet brutt ned på enkelttimer og utvalgte bomstasjoner. Vi har derfor valgt å bruke mer aggregerte tall når vi har laget et forslag til varebilmatrise på timesnivå.

Fordelingene som er benyttet er vist i figur 5. De tre første tidsperiodene er rushtidstimerne mellom 0600 og 0900 på morgenen. Periode 4 er lavtrafikkperioden om formiddagen mellom 0900 og 1500. Periodene 5-7 dekker timene i ettermiddagsrushet mellom 1500 og 1800, mens tidsperiode 8 dekker resten av døgnet fra 1800 på kvelden til 0600 om morgenen.



Figur 5.5. Andel bompasseringer med varebil i fordelt over virkedøgnet

Figuren viser at lavtrafikkperioden mellom 0900 og 1500 har flest bompasseringer. Det passerer naturligvis flere varebiler pr time i rushtiden, men lavtrafikkperioden varer lenger enn modellens rushtidsperioder som kun varer en klokkeperiode.

Som et anslag bruker vi aggregert fordeling av varebilturer som passerer bygrensen i innkretningsretningen. For turer som passerer bygrensen på vei ut av Oslo, og som altså ikke betaler bompenge og heller ikke finnes i statistikken, bruker vi bygrenseringens fordeling for morgenrushet til å fordele turene i motsatt retning i ettermiddagsrushet, og bygrenseringens fordeling i ettermiddagsrushet til å fordele turene i motsatt retning i morgenrushet.

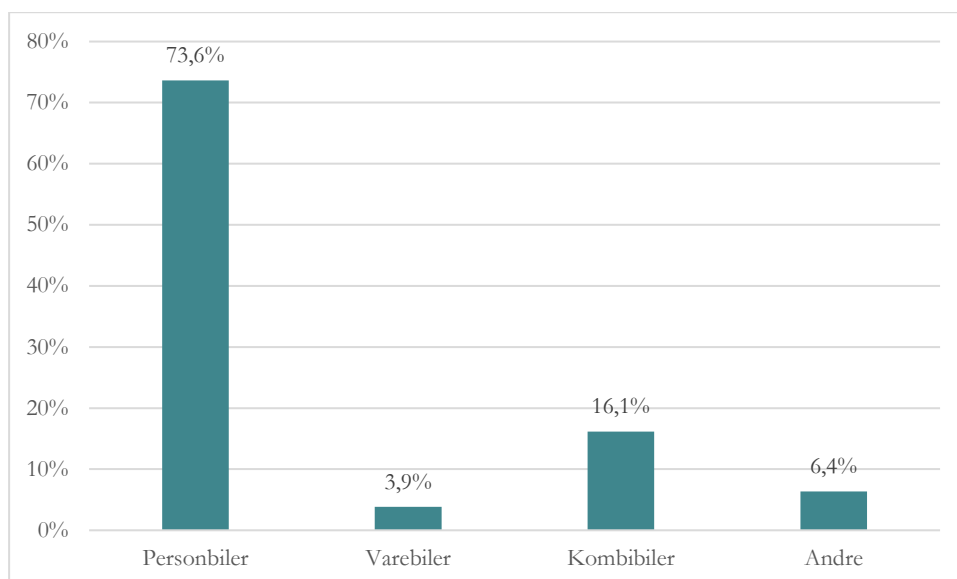
For øvrige turer med opphav eller destinasjon i Oslo kommune, bruker vi aggregert fordeling over alle bomstasjoner i indre ring og Osloringen for å fordele turer på timesnivå, mens vi bruker anslått samlet fordeling over alle bomstasjoner inklusiv bygrensepasseringer mot innkretningsretningen for å fordele turer med opphav og destinasjon utenfor Oslo kommune.

### 5.3.3 RVU

Figur 5.6 viser andel bompasseringer i Oslos bomsystem fordelt på biltype basert en turmatrise fra RVU 2018-2019. Figuren er laget ved å nettfordelte RVU-data for Oslo og Akershus for yrkesdøgn, og summere opp bompasseringer innenfor de fire ulike kjøretøykategoriene.

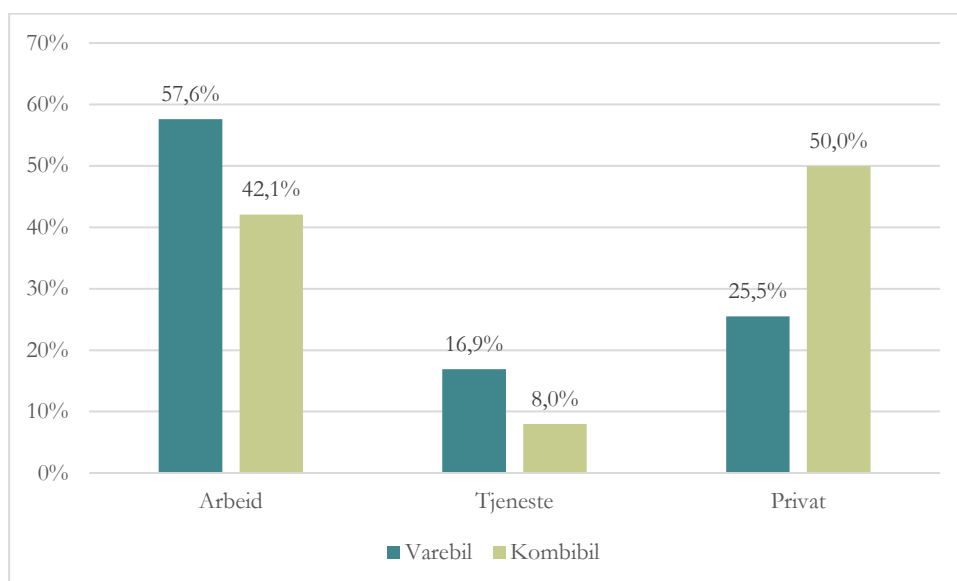
Som figuren viser utgjør varebilene kun 3.9 % av antall lette biler som passerer bomstasjoner i Oslo i de nettfordelte RVU-dataene. Dette er lave andeler med tanke på at bompasseringsstatistikken for november 2022 viser at andelen varebiler utgjør mellom 18 og 19 % av alle passeringer med lette biler.

Kombi-biler utgjør 16.1 % av bompasseringene. Denne kategorien inneholder flerbruksbiler, stasjonsvogner og kombinerte biler. En mulig forklaring på at det virker å være såpass få varebiler i RVU, kan kanskje være at mange varebiler har blitt feilkategorisert som kombibiler.



Figur 5.6. Andel bompasseringer med for ulike kjøretøy pr virkedøgn beregnet fra RVU.

Figur 5.7 viser andel bompasseringer med varebil og kombibil fordelt etter reisehensikt.



Figur 5.7. Andel bompasseringer med for ulike kjøretøy og reiseformål pr virkedøgn beregnet fra RVU.

Figuren viser at 25.5 % av bompasseringene med varebil oppgis å være knyttet til privat bruk. Dette stemmer overens med statistikken fra SSB som viser at 23.4 % av trafikkarbeid utført med varebil i Oslo er knyttet til privat kjøring.

Arbeidsreiser med varebil står for 57.6 % av passeringene. Erfaringsmessig sliter en del av respondentene i RVU med å skille mellom arbeidsreiser og tjenestereiser, der arbeidsreiser er definert som reiser fra hjem til arbeidsplass, mens tjenestereiser er reiser i arbeids medfør, gjerne fra arbeidsplass til møtelokale eller lignende.

For mobile tjenesteytere vil nok skillet mellom arbeidsreiser og tjenestereiser oppleves å være ganske flytende all den tid mange nok starter dagen ute på oppdrag uten å ta veien innom arbeidsgiver først. Det er også slik at en arbeidsreise i RVU i utgangspunktet anses som en privat reise. Men for en mobil

tjenesteyter som er avhengig av varebilen sin i arbeidet, kan man nok vanskelig definere arbeidsreisen som privat bruk av varebil.

## 5.4 Anbefalinger om bruk

Varebilmatrisene som er etablert for RTM 23+ er kalibrert for å treffe bompasseringsstatistikken fra Oslo bomsystem, og skal således inneholde alle varebiler. De regionale persontransportmodellene er kalibrert mot RVU-data og skal således inkludere en del av varebiltrafikken allerede.

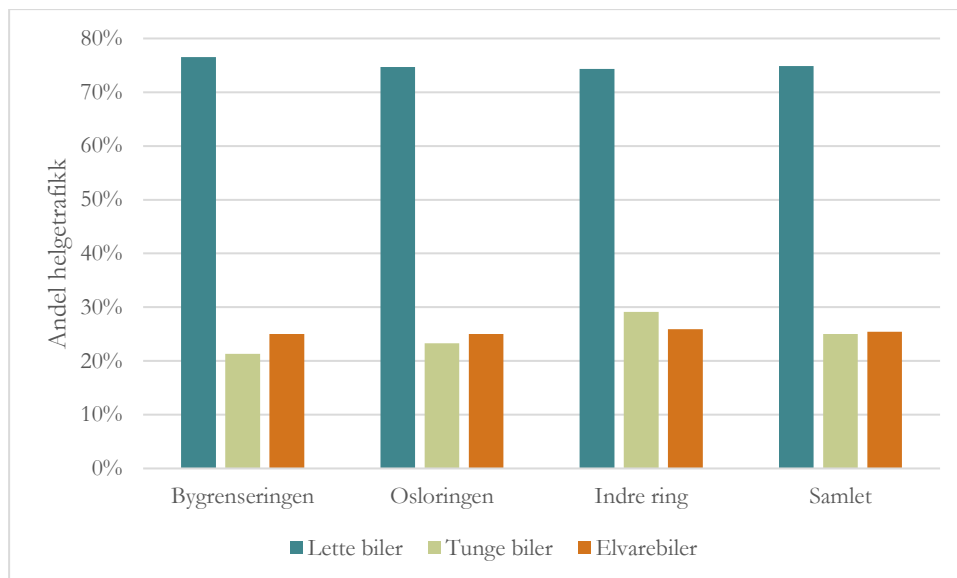
Selv om figur 6 tyder på at reisevaneundersøkelsen kun inneholder en liten andel av bilturer med varebil, er det vanskelig å vurdere i hvilken grad dette skyldes om det er antall turer er underrapportert eller om det skyldes at turer med varebil er kategorisert som turer med annet kjøretøy.

Vi mener det er naturlig å forutsette at privat kjøring med varebil bør være representert i RVU på lik linje med annen privatbilisme. Ifølge SSB utgjør privat bruk 23.4 % av trafikkarbeidet med varebil i Oslo og 37 % av trafikkarbeidet med varebil i Norge som helhet. I tillegg vil også noe av varebiltrafikken være inkludert i RVU gjennom tjenestereiser.

Hvor mye av varebiltrafikken som dekkes i RVU er vanskelig å vurdere, men som et grovt, første anslag anbefaler vi at varebilmatrisen nedjusteres med 50 % før den brukes i RTM, fordi noe varebilkjøring inngår i RVU og er derfor allerede representert i RTM for Oslo og Akershus.

## 5.5 Transportytelser

Figur 5.8 viser andel helgetrafikk i bomringene fordelt på ulike kjøretøytyper. Andel helgetrafikk er beregnet som forholdet mellom antall bompasseringer for helgedøgn og antall bompasseringer for virkedøgn.



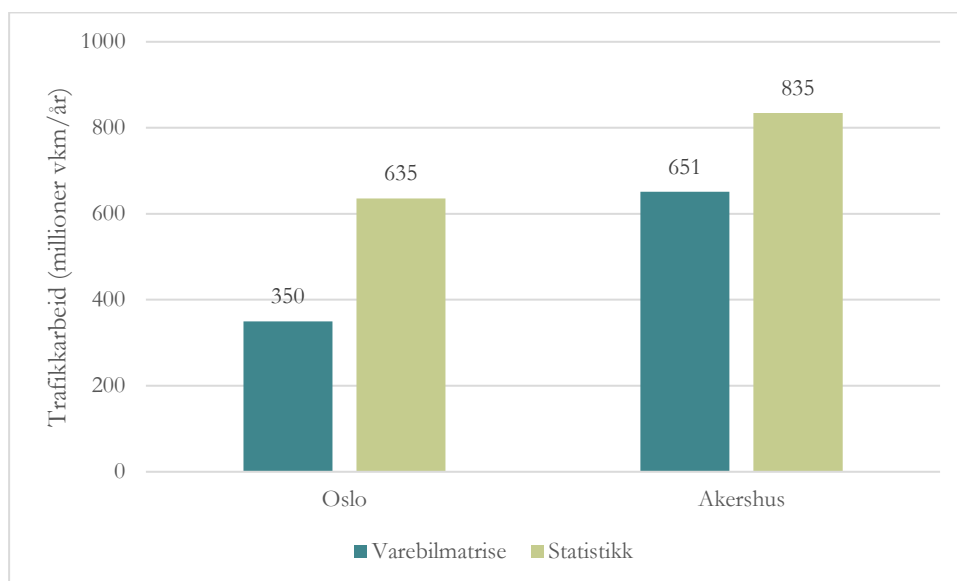
Figur 5.8. Forhold mellom antall bompasseringer i helgedøgn og virkedøgn.

Figuren viser at totalt antall bompasseringer pr helgedøgn utgjør omtrent 75 % av virkedøgntrafikken for lette kjøretøy. For tunge kjøretøy og elektriske varebiler utgjør antall bompasseringer for helgedøgn bare omtrent 25 % av antall bompasseringer for virkedøgn.

Dette innebærer at årstdøgntrafikk utgjør omtrent 93 % av virkedøgntrafikken for lette kjøretøy og i underkant av 79 % for tunge kjøretøy og elektriske varebiler.

All den tid privat bruk utgjør en betydelig andel av varebiltrafikken kunne man kanskje forvente at helgetrafikken ville utgjøre en noe større andel for elektriske varebiler enn for tunge kjøretøy. Men det er igjen viktig å minne om at datagrunnlaget er svært spinkelt her, og at vi kun har passeringsdata for en eneste helg.

Dersom vi legger til grunn forholdet med helgetrafikk og virkedøgntrafikk som angitt i figur 8, kan vi beregne årlig trafikkarbeid ved å nettfordele varebilmatrisen i transportnettverket. Dette er vist i figur 5.9 der beregnet trafikkarbeid for Oslo og Akershus er sammenstilt med statistikk fra SSB.



Figur 5.9: Fylkesvis trafikkarbeid med varebil pr år.

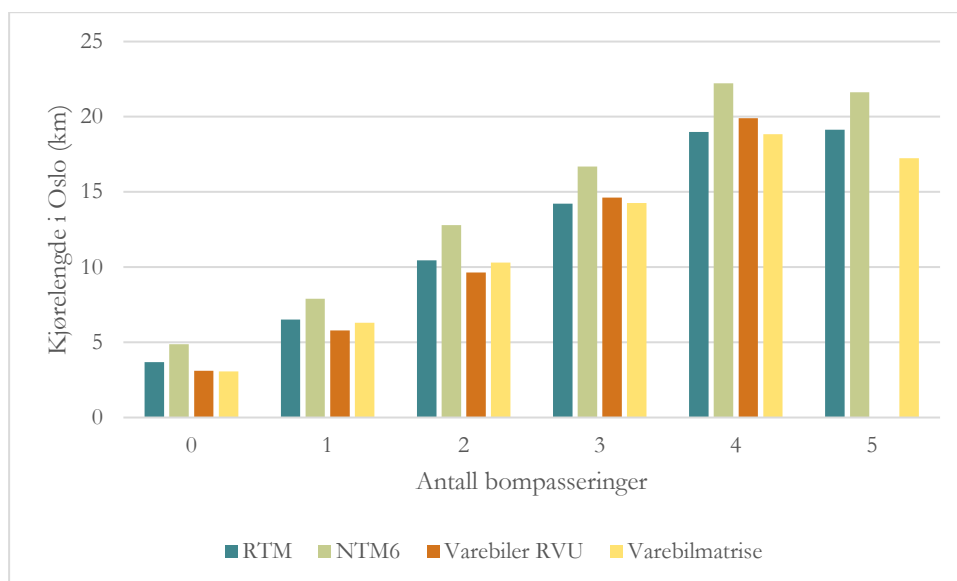
Figuren viser at varebilmatrisen gir vesentlig lavere trafikkarbeid enn statistikken angir. Avviket er spesielt stort for Oslo der det utgjør 45 %. For Akershus er beregnet trafikkarbeid 22 % lavere enn statistikken.

Det fremstår som et lite mysterium at trafikkarbeidet for varebil i Oslo ligger såpass mye lavere enn statistikken med tanke på at varebilmatrisen gir bomplasseringer som samsvarer bra med bomplasseringsstatistikken matrisen er kalibrert mot.

Figur 5.10 viser sammenhengen mellom trafikkarbeidet og bomplasseringer i Oslo. Figuren er utarbeidet ved å nettfordele turmatriser fra ulike datakilder, og ta ut gjennomsnittlig kjørelengde i Oslo som funksjon av antall bomplasseringer.

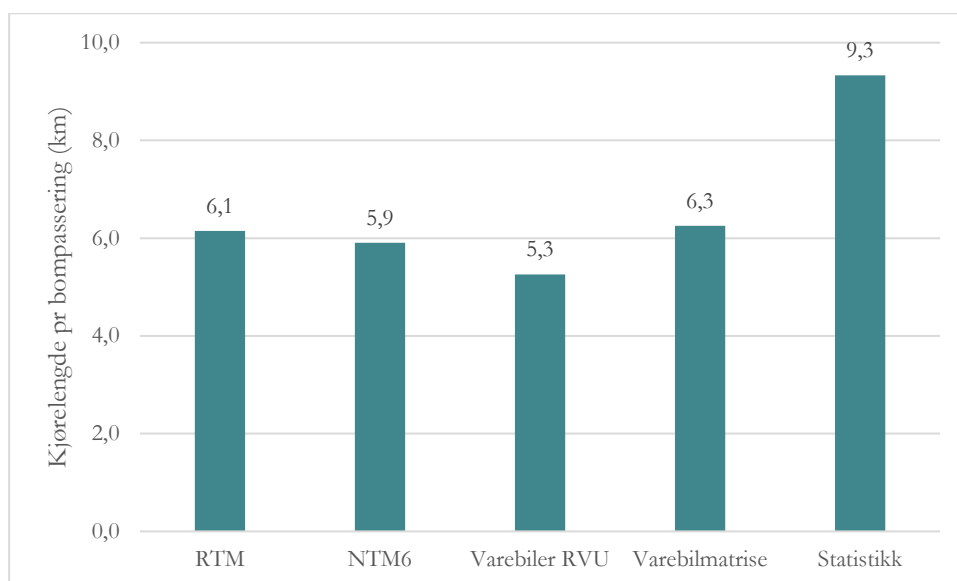
Figuren viser at gjennomsnittlig kjørelengde øker med antall bomplasseringer frem til fjerde bomplassering, og er omtrent lik for fire og fem bomplasseringer. Dette skyldes nok at det primært er gjennomgangstrafikk som passerer minst fire bomstasjoner, og at det er begrenset hvor langt man kan kjøre i Oslo da det ikke er stort mer enn 20 km mellom de ulike bygrensesnittene.

Figuren viser videre at gjennomsnittlig kjørelengde ligger noe høyere for NTM6-trafikken som består av lange reiser over 70 km én, enn for de øvrige datakildene. I reisevanedataene for varebiler finnes det ikke observasjoner med mer enn fire bomplasseringer. Derfor mangler denne søylen.



Figur 5.10. Sammenheng mellom utkjørt distanse og antall bompasseringer i Oslo.

Figur 5.11 viser beregnet gjennomsnittlig kjørelengde pr bompassering i Oslo for ulike datakilder. Tallene framkommer ved å dividere beregnet trafikkarbeid for Oslo med antall bompasseringer i Oslo bomsystem.



Figur 5.11. Gjennomsnittlig kjørelengde pr bompasseringer i Oslo.

Figuren viser at RTM-trafikken i snitt kjører 6.1 km pr bompassering, mens NTM6-trafikken i snitt kjører 5.9 km. Dette kan fremstå kontraintuitivt siden figur 5.10 viste at NTM6-trafikk lå høyere i kjørelengde enn RTM-trafikken, men har sin naturlige forklaring i at reiser som passerer flere bomstasjoner i snitt har lavere kjørelengde pr passering. Varebilobservasjonene fra reisevaneundersøkelsen har noe lavere gjennomsnittlig kjørelengde pr bompassering enn øvrige datakilder, mens varebilmatrisen ligger noe høyere enn RTM.

Den siste søylen viser statistikken, og er beregnet ved å dividere trafikkarbeidet med varebil for Oslo hentet fra SSB sin varebilundersøkelse med antall bompasseringer med varebiler i Oslos bomsystem i november 2022.

Når vi kombinerer disse to statistikkene, beregnes gjennomsnittlig kjørelengde pr bompassering til å være 9.3 km, noe som er omtrent 50 % høyere enn hva tilfellet er for de andre datakildene. Med tanke på Oslos tetthet av bomringer fordelt på relativt beskjeden geografisk utstrekning, fremstår dette tallet i overkant høyt. Det er dermed grunn til å mistenke at statistikken for trafikkarbeid med varebil i Oslo er i høyeste laget.



## 6 Erfaringer og diskusjon

### 6.1 Konklusjon

Det nasjonale modellsystemet for person og godstransport underestimerer trafikkarbeidet sammenliknet med offisiell statistikk. Den viktigste årsaken til avviket skyldes at varebilene hverken er tilstrekkelig representert i persontransportmodellene eller godstransportmodellen. Formålet med denne rapporten har vært å utvikle metoder for å få varebilene bedre representert i transportmodellsystemet, enten i modeller for urban godstransport, eller som eksterne matriser i de regionale persontransportmodellene.

Tilgangen til data om bruk av varebiler, primært fra SSBs varebilundersøkelse, er aggregert og inneholder ikke detaljert informasjon om hvor transportene starter og stopper eller hvor oppdrag eller leveringer utføres, og er følgelig lite egnet for transportmodellering. Selv om den nasjonale reisevaneundersøkelsen (RVU) skal inneholde informasjon om alle personreiser, uavhengig av transportmiddel, viser gjennomgangen i denne rapporten at både private reiser og tjenestereiser med varebiler er underrapportert. Videre ser det ut til at reiser utført som tjenestereiser, ofte rapporteres som arbeidsreiser, noe som særlig gjelder arbeidstakere innenfor håndverker- eller servicenæringer. Dette skyldes sannsynligvis at det er et diffust skille mellom arbeids- eller tjenestereise når første oppmøte om morgenen er hos kunde og ikke arbeidssted.

I arbeidet med denne rapporten har vi hatt tilgang til to datakilder, som har gitt økt innsikt i bruken av varebiler i Oslo og Akershus: Det ene datasettet består av GPS-data fra et utvalg varebiler som hovedsakelig benyttes til distribusjon i Oslo og Akershus. Det andre datasettet består av bomplasseringer i de tre bomringene i Oslo, samt for elektriske varebiler for hvert tellesnitt.

GPS-dataene er benyttet som grunnlag til utvikling av metoder for å modellere distribusjonsruter med varebiler under ulike detaljeringsnivåer på informasjonstilfanget. Det vil si at optimeringen er basert på hhv. koordinatfestet sted for levering, og, der bare leveringspoststedet er kjent, ved å generere et tilfeldig valgt steder innenfor postnummersonene. Alternativet til å generere tilfeldig valgte steder innenfor postnummersoner, kan man i stedet beregne et tyngdepunkt i hver postnummerson basert på informasjon fra f.eks [Enhetsregisteret](#) dersom leveransen er til bedriftsmarkedet, eller basert på SSBs [befolkningsdata i 250 meters rutenett](#). Vi har også benyttet GPS-dataene som verifiseringsgrunnlag ved å sammenlikne optimert distribusjonsrute for et gitt sett av leveransesteder, med observert distribusjonsrute, basert på map-matching av tilsvarende GPS-sporing. Valideringen viser at det er utfordrende å treffe veivalget til den optimerte ruten med det som er faktisk veivalg, og dette gjelder både for kjøring til/fra distribusjonsområdet og innenfor det faktiske distribusjonsområdet. Dette kan skyldes at faktiske trafikkforhold i veinettet har stor påvirkning på de valgene som sjåføren gjør. Størrelsen på tidsvinduerne ved levering har stor innvirkning på hvor lang tid en distribusjonsrute tar. F.eks vil transportøren ved krav om smale tidsvinduer, måtte beregne en tidsbuffer mellom hver levering for å være sikker på at leveringskravene kan oppfylles. Motsatt, vil det ved store tidsvinduer, slik det gjerne er ved hjemleveringer, i liten grad være behov for tidsbuffer, noe som gjør at distribusjonsruten kan gjennomføres mer effektivt.

I mangel av detaljerte data om varebiler og fordi dagens transportmodellsystem i sum for person- og godstransport underestimerer totalt trafikkarbeid, er det utledet en turmatrise for varebiler i Oslo og Akershus. Matrisen er etablert med utgangspunkt i turgenereringsmodellen Tramod\_by i RTM23+, for hhv tjenestereiser (til å representere håndverker-/servicereiser) og alle reiser (til å representere private reiser). I tillegg er det utledet en turmatrise basert på GPS-data fra en stor distributør i regionen. Matrisene er kalibrert til å overensstemme med bomplasseringsdata for varebiler i Oslos bomsystem. For å få en oversikt over det totale antallet varebiler som passerer de ulike bomsnittene har vi måttet gjøre noen forutsetninger, da det bare er de elektriske varebilene som kan identifiseres på hvert enkelt snitt. Dette

fordi elektriske varebiler utgjør en egen takstgruppe, mens totalt antall varebiler som passerer hver av bomringene, bare finnes i form av aggregerte tall for en hel måned. Ved å anta samme andel elektriske varebiler i andel av alle varebiler, har vi etablert anslag på det totale antall varebiler som passerer hvert bomsnitt pr time og pr (virke)dag. Matrisen som er etablert samsvarer bra med kalibreringsgrunnlaget for hver av bomringene, men har noen avvikt på mer detaljert nivå.

## 6.2 Diskusjon

Oppdragsgiver har ytret ønske om å etablere varebilmatriser for andre byområder enn for Oslo. For at dette skal være mulig, er datatilgjengeligheten helt essensiell. Dette gjelder for turproduksjon, men valideringsdata er minst like viktige. I dette prosjektet har vi hatt tilgang til valideringsdata for bomsystemet i Oslo. At vi har kunnet identifisere varebilene skyldes dels at de elektriske varebilene utgjør en egen takstgruppe, men for å få oversikt over det totale antallet bompasseringer med varebiler, var det essensielt at det fantes rapporter som fordelte alle bompasseringer ut på alle mulige kjøretøykategorier. Dette gjorde at det mulig å identifisere hvor stor andel av passeringene med lette biler som utgjøres av varebiler i sum for hver bomringene, og ved å anta at de elektriske varebilene utgjør en fast andel av alle varebilpasseringer i hver bomring, var det også mulig å lage anslag på antall varebiler pr bomsnitt. Om tilsvarende informasjon finnes for bomstasjoner i de øvrige byområdene, og GPS-dataene i tillegg gir turinformasjon om distribusjonskjøring i området, vil det være mulig å etablere varebilmatriser basert på tilsvarende metodikk som beskrevet i denne rapporten.

## 6.3 Videre forskning

Statens vegvesen og Samferdselsdepartementet planlegger å finansiere en ny varebilundersøkelse i 2025 for å lage statistikk som beskriver kjøremønsteret og godstransporten til varebiler og norske lastebiler med tillatt nyttelast under 3,5 tonn. Det planlegges at SSB skal gjennomføre undersøkelsen. I tidligere undersøkelser har oppgavegiverne, som har blitt trukket ut til undersøkelsen, rapportert nok så aggregerte data for en utvalgt uke. I den planlagte undersøkelsen for 2025 er det en målsetting å innsamle mer detaljerte data. SSB ønsker å tilby at oppgavegiverne skal kunne ta i bruk en mobilapplikasjon (app) som kan bidra til å besvare store deler av databehovet i undersøkelsen. Målet er at sjåførene i kjøretøyene skal kunne installere appen på sin mobiltelefon og at kjøretøyets bevegelser spores slik at appen kan beregne distanse kjørt, samt eventuelle stopp underveis. Videre er det ønske om at lokasjon og stopptid ved hvert stopp registreres automatisk av appen, som også må tilby funksjonalitet for manuell inntasting av opplysninger om stoppets formål. For å redusere utfordringer rundt GDPR og sporingsdata, skal sporingsdata aggregeres til postnummer eller grunnkrets. Bruk av app skal ikke være obligatorisk, slik at respondenter som ønsker det skal kunne svare via skjema. Vår vurdering er at dette vil gi et kjempeløft til datatilfanget om små godsbiler og at det vil kunne danne et solid fundament for utvikling av transportmodeller for bylogistikk.

I påvente av data fra denne undersøkelsen, vil vi fortsette med metodeutvikling der målsettingen er å etablere modeller for urban logistikk. En helt essensiell suksessfaktor, i en slik modell, vil være modellering av distribusjonsruter, som igjen er helt avgjørende for å kunne beregne trafikkarbeidet til ulike kjøretøykategorier i et byområde. Til nå har vi basert utviklingsarbeidet på GPS-data, der vi har etablert ruteoptimeringsmodeller basert på observerte stoppesteder, og så sammenliknet optimert rute med observert rute (basert på map-matching av GPS-dataene). For å ta dette et steg videre, bør man benytte faktiske sendingsdata for et område og for eksempel en dag, og så etablere modeller for tilfeldig genererte lokasjoner innenfor postnummersoner, med clustring av forsendelser som skal leveres til samme områder og optimering av rutevalg, der rekkefølgen på leveransene bestemmes vha. f.eks. [OSRM](#).

## Referanser

- Dong, J., Zhang, D., & Nagurney, A. (2019). Multitiered supply chain networks: Multicriteria decision-making under uncertainty. *Annals of Operations Research*, 275(2), ss. 551-585.
- Flotve, B. L., & Farstad, E. (2022). *Transportytelser i Norge 1946-2021. TØI-rapport 1929/2022*. Oslo. Hentet fra <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=74610>
- Furrel, W., Ogden, K., & Slyke, R. M. (2020). Robust vehicle routing problem with demand uncertainty based on stochastic programming. *European Journal of Operations Research*, 288(3), ss. 949-964.
- Grønland, S.E. (2008). Antall leveranser og lossetider: Studie av varetransport i byområder. Statens vegvesen. [Brage - Statens vegvesen: Antall leveranser og lossetider : studie av varetransport i byområder \(unit.no\)](https://www.vegvesen.no/om-vegvesen/nyheter-og-nyheterarkiv/2008/antall-leveranser-og-lossetider-studie-av-varetransport-i-byomraader)
- Holguin-Veras, J, Jaller, M, Sanchez-Diaz, I, Wojtowicz, J, Campbell, S, Levinson, H, Lawson, C, Powers, E. L. and Tavasszy, L. (2012). Freight Trip Generation and Land Use. NCFRP Report 19, TRB. [Freight Trip Generation and Land Use | Blurbs New | Blurbs | Publications \(trb.org\)](https://www.trb.org/publications/pubs/2012/19).
- Hovi, I., & Mjøsund, C. S. (2022). GPS data as a basis for mapping freight vehicle activities in urban areas - A case study for seven Norwegian cities. *Research in Transportation Business & Management*, Volume 45(Part C). Hentet fra <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2022.100908>
- Hovi, I., & Pinchasik, D. R. (2022). *Effekter av koronapandemien for transportnæringen i et innenriksperspektiv. TØI-rapport 1913/2022*. Oslo. Hentet fra <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=74451>
- Hovi, I., Mjøsund, C. S., Bø, E., Pinchasik, D. R., & Grønland, S. (2021). *Logistikk, miljø og kostnader: Kjøretøydata som grunnlag for forskning, transportplanlegging og forbedringsarbeid. TØI-rapport 1861/2021*. Oslo. Hentet fra <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=72806>
- Jones, D., Mirchandani, P., & Rosenkrantz, D. J. (2020). Time dependent vehicle routing problem with multi-capacity vehicles: An application to backhauling from postal delivery routes. *International Journal of Production Economics*, 220.
- Kartverket. (2023). *Geonorge*. Hentet fra Kartkatalogen: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/postnummeromraader/462a5297-33ef-438a-82a5-07fff5799be3>
- LeuvenMap-matching. (2018). *LeuvenMap-matching*. Retrieved from Leuven.Matching's documentation: <https://leuvenmap-matching.readthedocs.io/en/latest/>
- Meert, W., & Verbeke, M. (2018). HMM with non-emitting states for Map Matching. *European Conference on Data Analysis (ECDA)*.
- Sneider, M., Stenger, A., & Goeke, D. (2018). The electric vehicle-routing problem with time windows and recharging stations. *Transportation Science*, 52(4), ss. 965-989.
- Statistisk Sentralbyrå. (2023). *SSBs kartportal*. Hentet fra <https://kart.ssb.no/>
- Weber, C. (2023). *Github*. Retrieved from Roseem: <https://github.com/TOI-NORWAY/roseem>

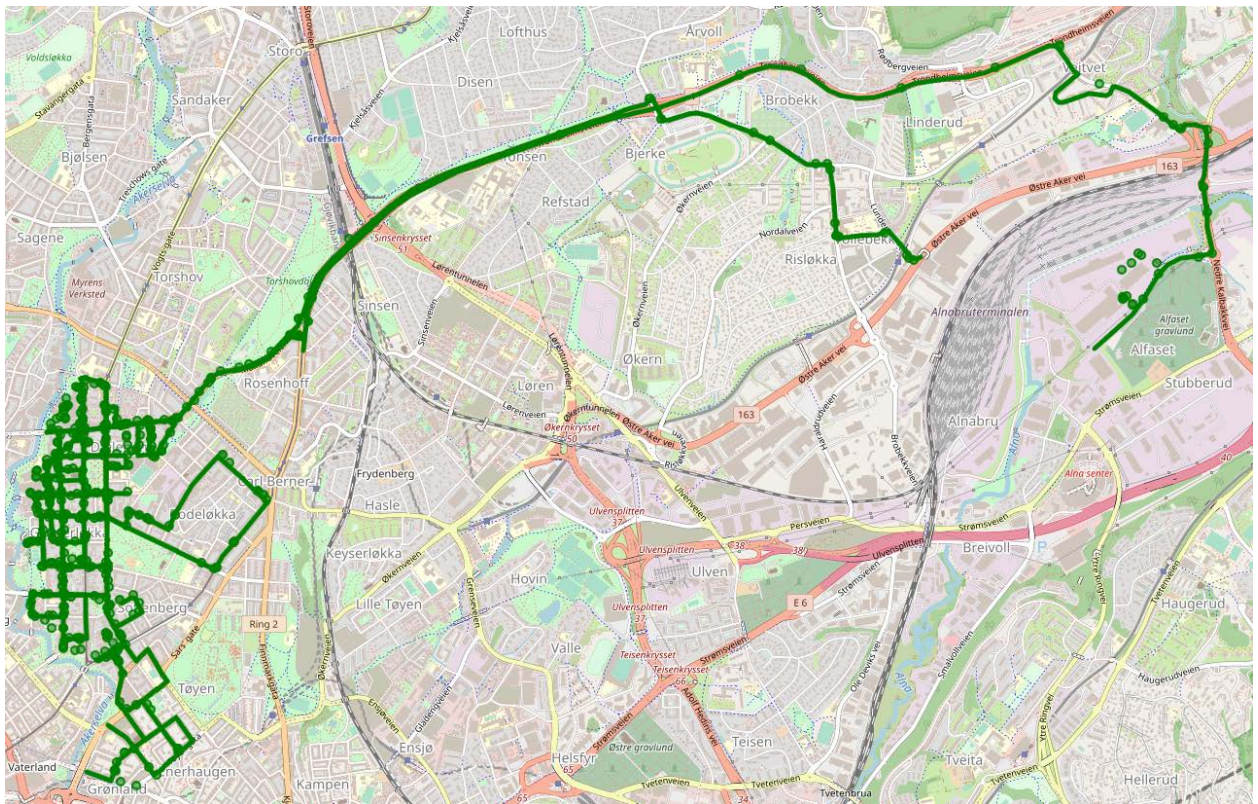
# Vedlegg

## Vedlegg 1. Byområdene i RVU 2018/19

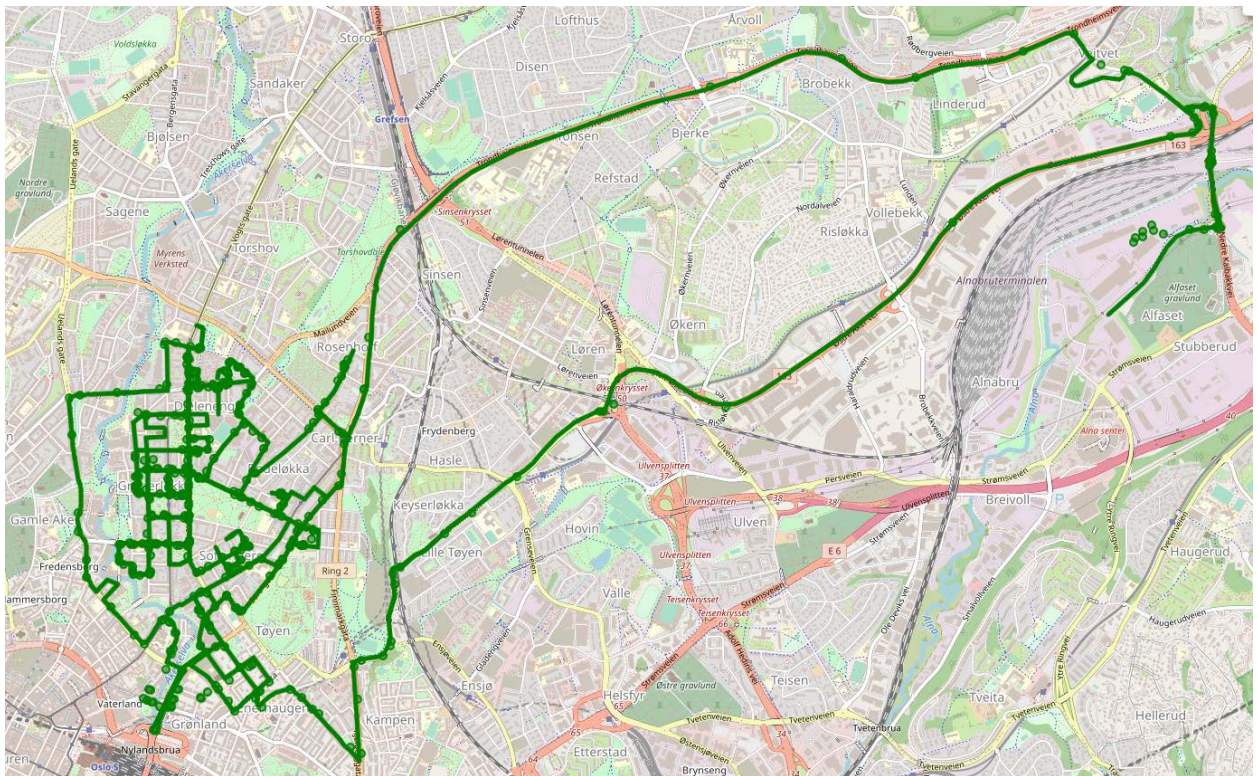
Trafikkarbeidet er estimert for ni byområder (kommuneinndeling pr 2019):

OSLO-OMRÅDET	OSLO	301 Oslo
	OMEGN TIL OSLO	211 Vestby
		213 Ski
		214 Ås
		215 Frogn
		216 Nesodden
		217 Oppegård
		219 Bærum
		220 Asker
		221 Aurskog-Høland
		226 Sørum
		227 Fet
		228 Rælingen
		229 Enebakk
		230 Lørenskog
		231 Skedsmo
		233 Nittedal
		234 Gjerdrum
		235 Ullensaker
236 Nes - Akershus		
237 Eidsvoll		
238 Nannestad		
239 Hurdal		
627 Røyken		
628 Hurum		
BERGENS - OMRÅDET	BERGEN	1201 Bergen
	OMEGN TIL BERGEN	1241 Fusa
		1243 Os - Hordaland
		1245 Sund
		1246 Fjell
		1247 Askøy
		1256 Meland
		1259 Øygarden
		1260 Radøy
		1263 Lindås
TRONDHEIMS-OMRÅDET	TRONDHEIM	5001 Trondheim
	OMEGN TIL TRONDHEIM	5028 Melhus
		5030 Klæbu
		5031 Malvik
		5035 Sjørdal
NORD-JÆREN	STAVANGER	1103 Stavanger
	OMEGN TIL STAVANGER	1102 Sandnes
		1124 Sola
		1127 Randaberg
		1142 Rennesøy
KRISTIANSANDS-REGIONEN	926 Lillesand	
	928 Birkenes	
	935 Iveland	
	1001 Kristiansand	
	1014 Vennesla	
	1017 Songdalen	
BUSKERUDBYEN	602 Drammen	
	604 Kongsberg	
	624 Øvre Eiker	
	625 Nedre Eiker	
	626 Lier	
NEDRE GLOMMA	105 Sarpsborg	
	106 Fredrikstad	
GRENLAND	805 Porsgrunn	
	806 Skien	
	811 Siljan	
	814 Bamble	
TROMSØ	1902 Tromsø	
RESTEN AV LANDET	Alle øvrige kommuner	

## Vedlegg 2. Resultater fra map-matching



Rute 166307\_0

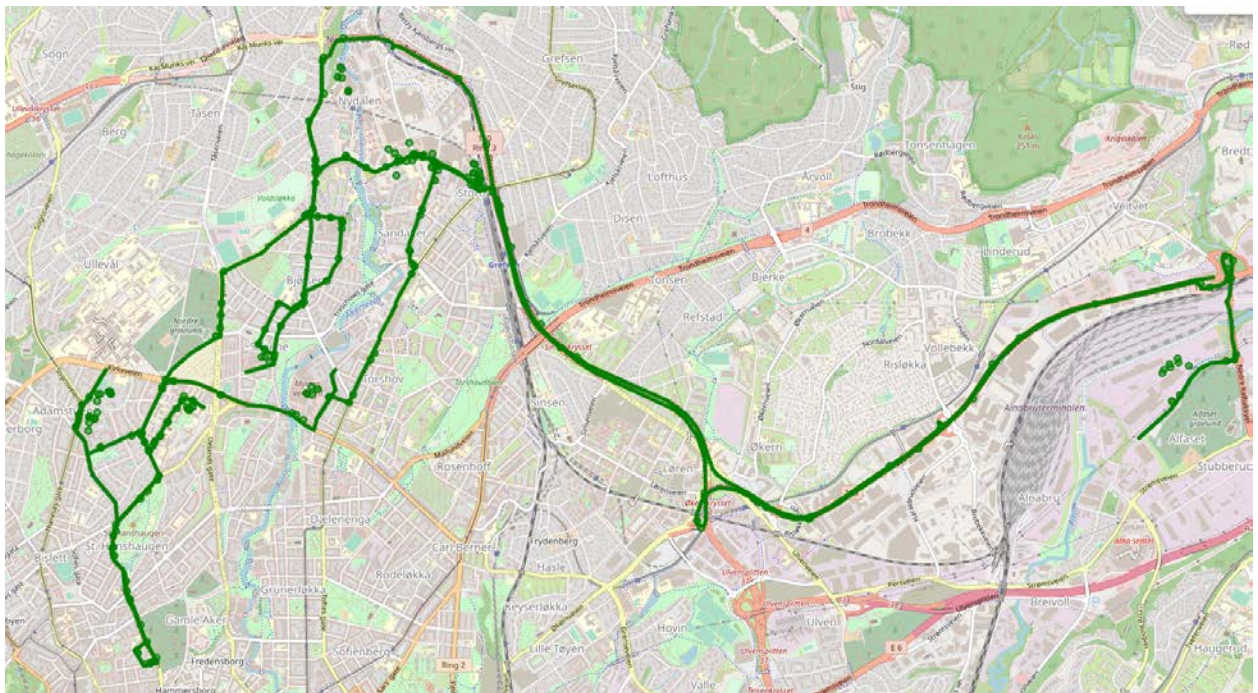


Rute 266307\_1

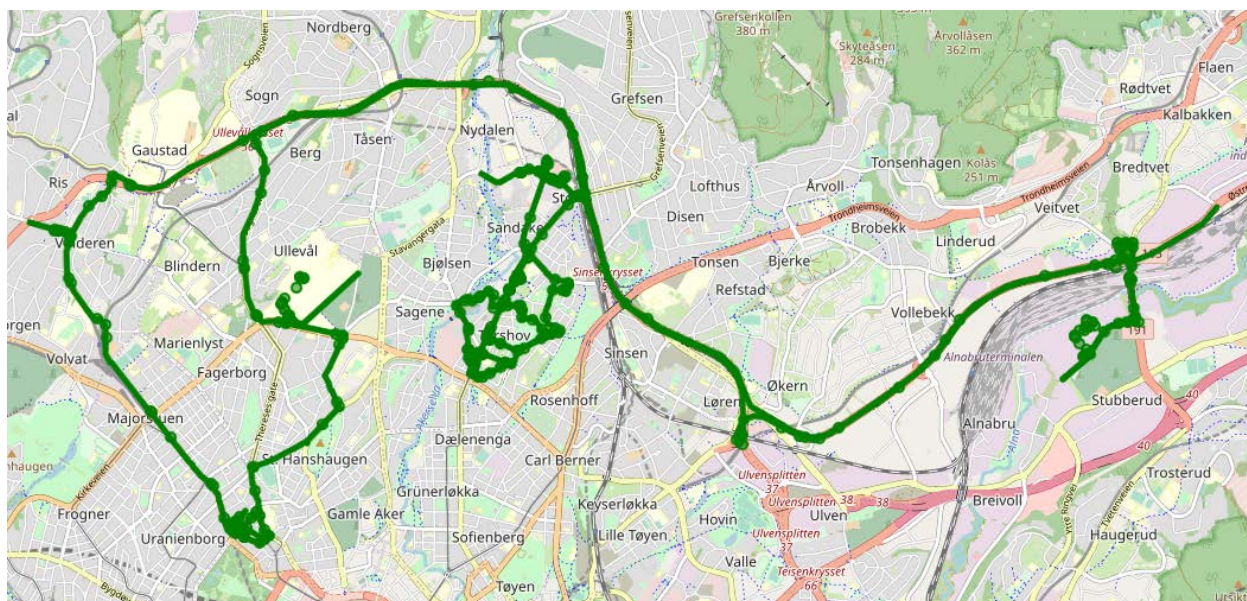
## Varebiler i bylogistikk - omfang og metodiske utfordringer



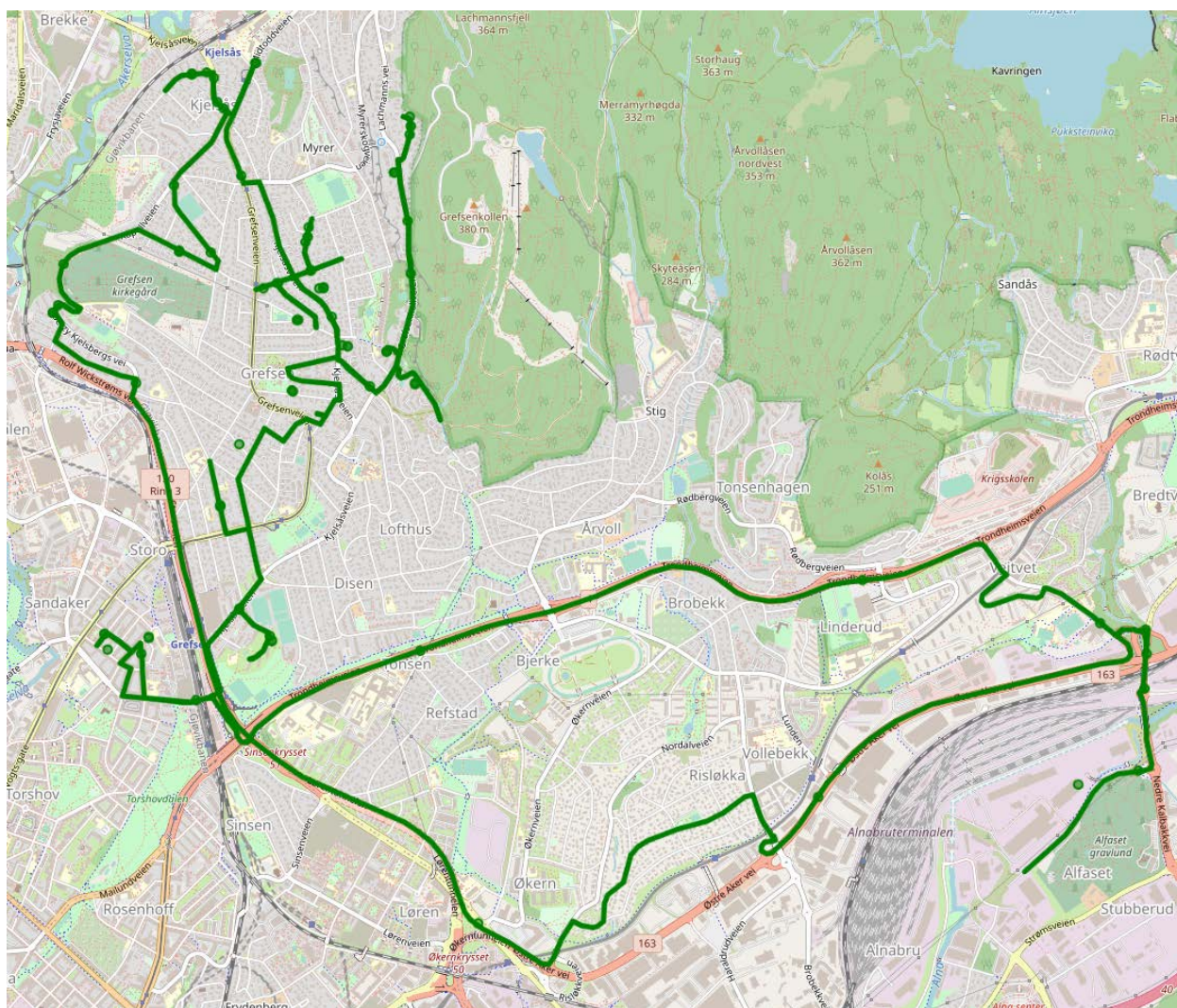
Rute 3 67546



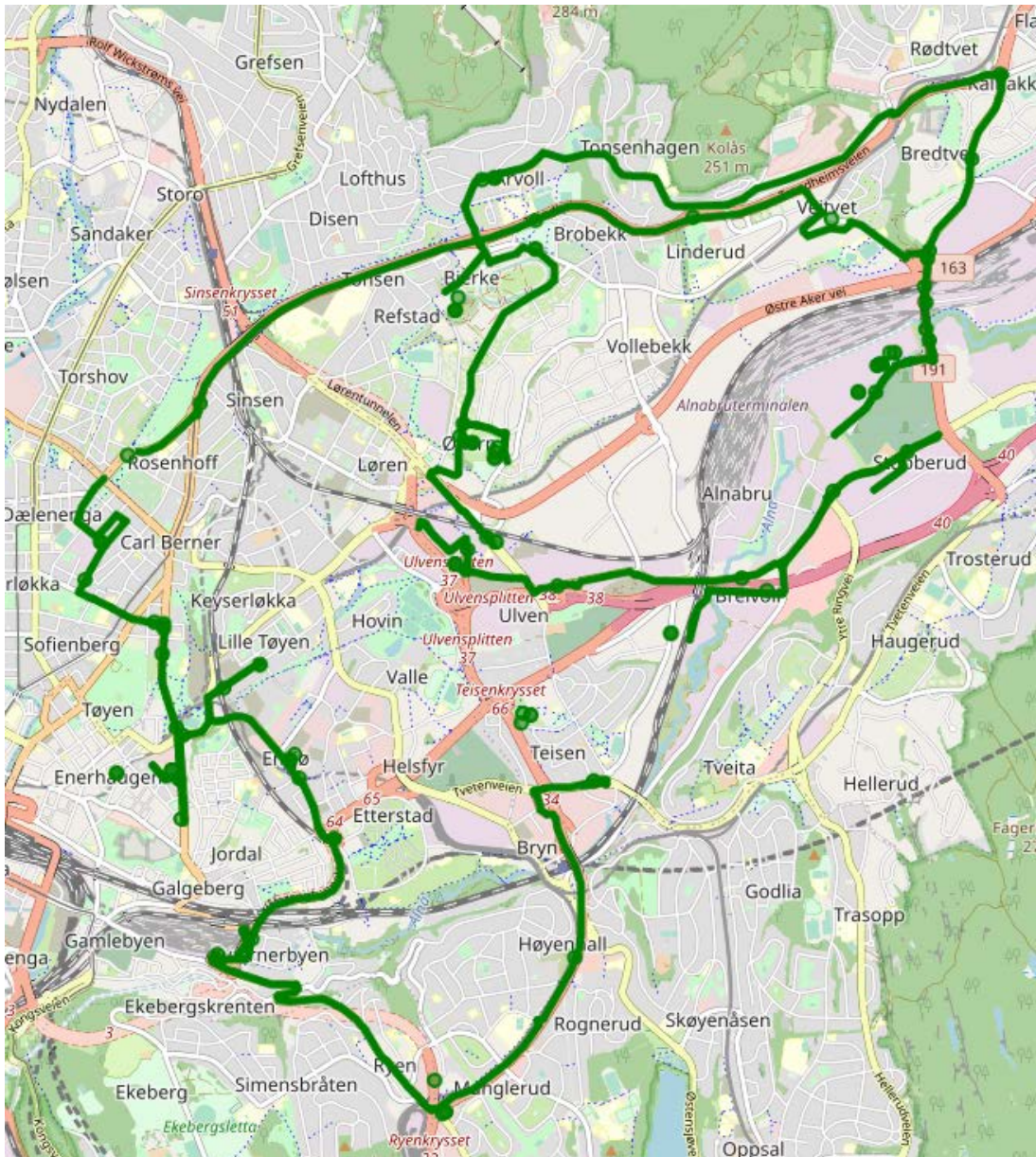
Rute 4 67888\_0



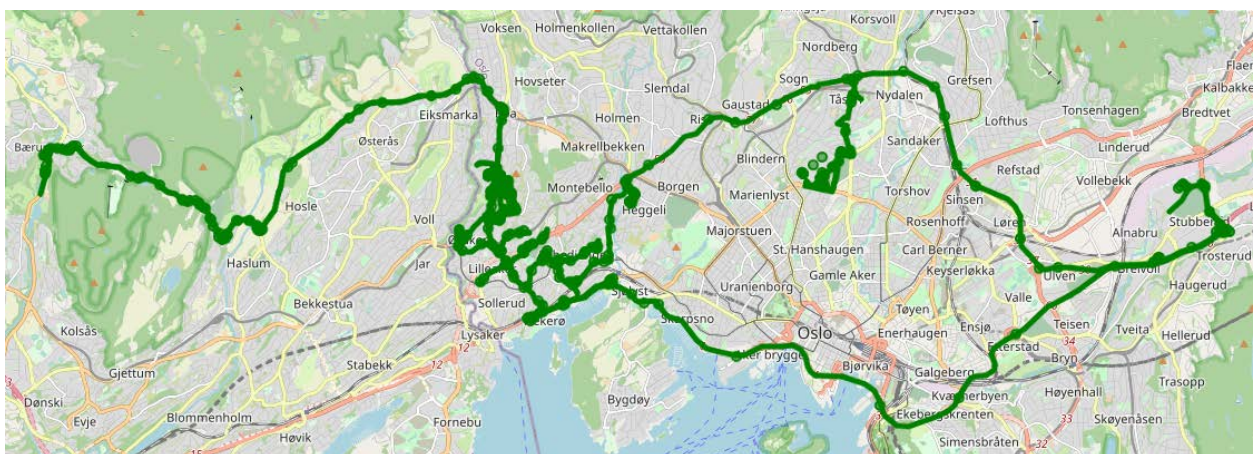
Rute 5 67888\_1



Rute 6 83713

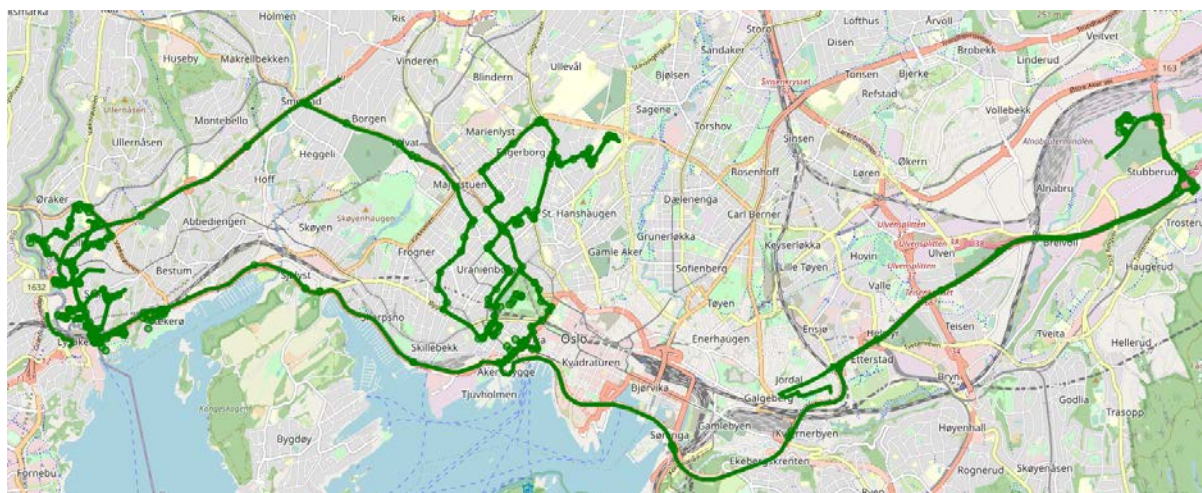


Rute 7 84501

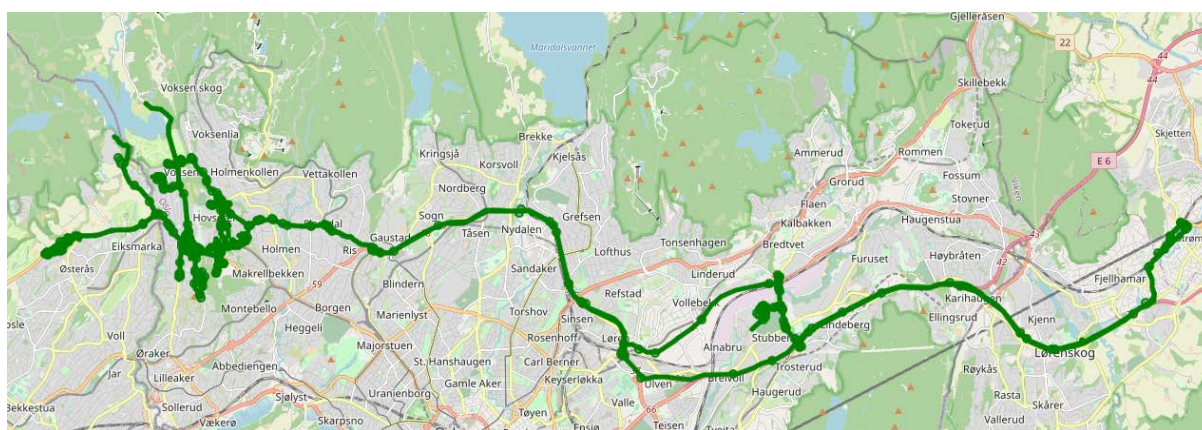


Rute 8 87624

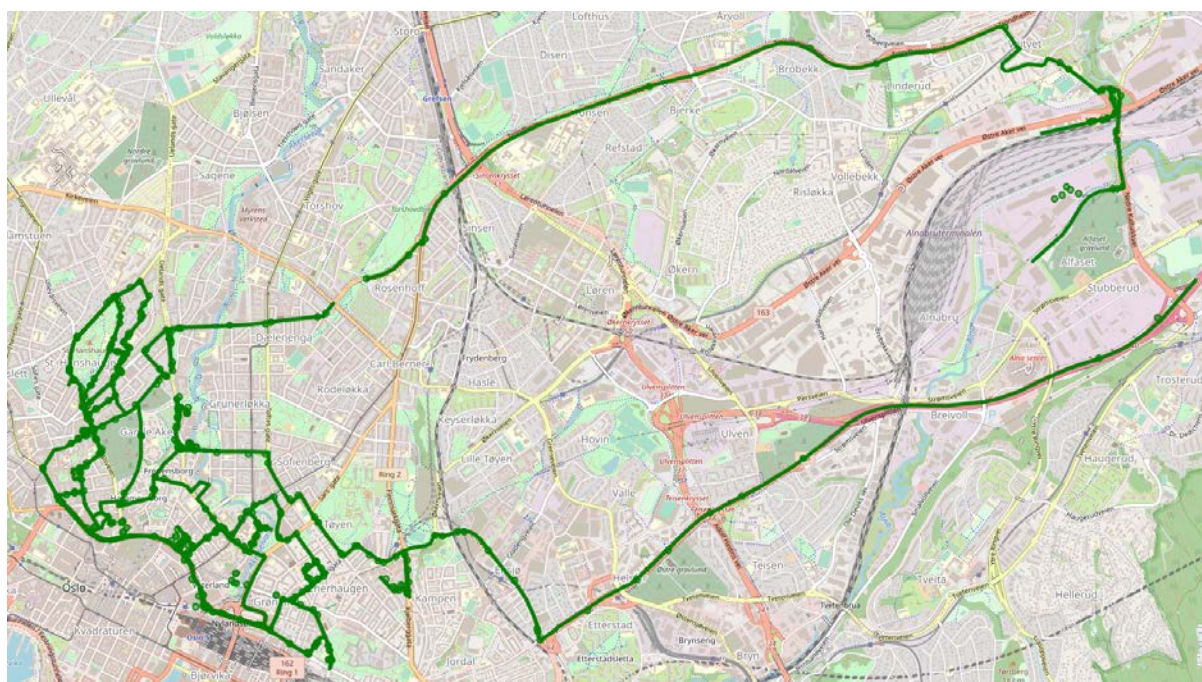




Rute 9 8805



Rute 10 88804



Rute 11 88805

## Vedlegg 3. MILP modell

### Problemdefinisjon:

- **Inndata:**

1. Et depot hvor alle kjøretøy er stasjonert.
2. Et sett med kunder med kjente krav.
3. Et sett med kjøretøy med kjente kapasiteter.
4. Reisetider (eller avstander) mellom alle par av lokasjoner (depot og kunder).
5. Servicetider som kreves på hvert kundested.
6. Tidsvinduer for hver kunde, innenfor hvilken tjenesten kan starte.

- **Utdata:**

1. Et sett med ruter for kjøretøyene, slik at:
  - Hver kunde betjenes nøyaktig en gang.
  - Den totale etterspørselen på enhver rute overstiger ikke kjøretøyets kapasitet.
  - Service hos hver kunde starter innenfor sitt tidsvindu.
  - Den totale rutevarigheten (inkludert reisetid og servicetid) overstiger ikke kjøretøyets maksimalt tillatte varighet.

- **Mål:** Minimer den totale reisetiden eller avstanden over alle kjøretøy.

### Matematisk Formulering (forenklet):

#### Sett:

$C$             Settet med kunder og depot

$V$             Settet med kjøretøy

#### Indeks:

$i, j$            Lokasjonsindeks (kunder og depot)

$v$             Kjøretøyindeks

#### Parametere:

$D_i$            Etterspørsel fra kunde  $i$ .

$C_v$            Kapasitet for kjøretøy  $v$ .

$T_{ij}$            Reisetid eller avstand mellom lokasjon  $i$  og  $j$ .

$S_i$            Servicetid for kunde  $i$ .

$A_i$            Starten på tidsvinduet for kunde  $i$ .

$B_i$            Slutten på tidsvinduet for kunde  $i$ .

$M$             En stor positiv verdi.

$T_v$            Maksimalt tillatte varighet for kjøretøy  $v$ .

#### Beslutningsvariabler:

$x_{ijv}$            1 hvis kjøretøy  $v$  reiser direkte fra lokasjon  $i$  til lokasjon  $j$ , 0 ellers.

$y_{iv}$  Starttid for tjeneste hos kunde  $i$  med kjøretøy  $v$ .

**Målformulering:**

$$\min \sum_v \sum_i \sum_j T_{ij} x_{ijv}$$

**Betingelser:**

1. Hver kunde betjenes nøyaktig en gang:

$$\sum_v \sum_j x_{ijv} = 1 \quad \forall i$$

2. Kapasitetsrestriksjoner:

$$\sum_i \sum_j D_i x_{ijv} \leq C_v \quad \forall v$$

3. Tidsvindu restriksjoner:

$$A_i \leq y_{iv} \leq B_i \quad \forall i, v$$

4. Tjenestetid og reisetid:

$$y_{iv} + S_i + T_{ij} - M(1 - x_{ijv}) \leq y_{jv} \quad \forall i, j, v$$

5. Maksimal varighet av ruten:

$$\sum_i \sum_j (S_i + T_{ij}) x_{ijv} \leq T_v \quad \forall v$$

6. Subtoureliminering (for å unngå små sykluser i løsningen):

$$y_{jv} - y_{iv} \leq M(1 - x_{ijv}) \quad \forall i, j, v$$

7. Binære restriksjoner:

$$x_{ijv} \in \{0,1\} \quad \forall i, j, v$$

Dette er en grunnleggende og forenklet formulering. I praksis kan VRPTW bli mye mer komplisert, spesielt når man vurderer mer realistiske begrensninger og scenarier. Matematisk programmering for VRPTW er utfordrende, og problemstørrelsen kan vokse eksponentielt med antall kunder.

TØI er et anvendt forskningsinstitutt som mottar basisbevilgning fra Norges forskningsråd og gjennomfører forsknings- og utredningsoppdrag for næringsliv og offentlige etater. TØI ble opprettet i 1964 og er organisert som uavhengig stiftelse.

TØI utvikler og formidler kunnskap om samferdsel med vitenskapelig kvalitet og praktisk anvendelse. Instituttet har et tverrfaglig miljø med rundt 90 høyt spesialiserte forskere.

Instituttet driver forskningsformidling gjennom TØI-rapporter, artikler i vitenskapelige tidsskrifter, bøker, seminarer, samt innlegg og intervjuer i media. TØI-rapportene er gratis tilgjengelige på instituttets hjemmeside [www.toi.no](http://www.toi.no).

TØI er partner i CIENS Forskningscenter for miljø og samfunn, lokalisert i Forskningsparken nær Universitetet i Oslo (se [www.ciens.no](http://www.ciens.no)). Instituttet deltar aktivt i internasjonalt forskningssamarbeid, med særlig vekt på EUs rammeprogrammer.

TØI dekker alle transportmidler og temaområder innen samferdsel, inkludert trafiksikkerhet, kollektivtransport, klima og miljø, reiseliv, reisevaner og reiseetterspørsel, arealplanlegging, ITS, offentlige beslutningsprosesser, næringslivets transportbehov og generell transportøkonomi.

Transportøkonomisk institutt krever opphavsrett til egne arbeider og legger vekt på å opptre uavhengig av oppdragsgiverne i alle faglige analyser og vurderinger.

**Postadresse:**

Transportøkonomisk institutt  
Gautstadalléen 21  
0349 Oslo  
Norge

E-post: [toi@toi.no](mailto:toi@toi.no)

**Kontoradresse:**

Forskningsparken  
Gautstadalléen 21

Hjemmeside: [www.toi.no](http://www.toi.no)

