



Transportøkonomisk institutt  
Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning

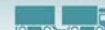
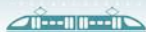


# Automatiserte kjøretøy for varelevering i by

Et systemperspektiv

Ross Owen Phillips, Howard T. Weir IV, Elise Caspersen

1970/2023



Tittel:	Automatiserte kjøretøy for varelevering i by - Et systemperspektiv
Tittel engelsk:	Automated vehicles for urban goods delivery: Contribution, use areas and system needs
Forfatter:	Ross O. Phillips, Howard T. Weir IV, Elise Caspersen
Dato:	11.2023
TØI-rapport:	1970/2023
Antall sider:	82
ISSN elektronisk:	2535-510442
ISBN elektronisk:	978-82-480-2032-5
Finansieringskilder:	Statens vegvesen v/ Bylogistikkprogrammet
TØIs p.nr.:	5240 – AUTOBY
Prosjektleder:	Ross Phillips, Elise Caspersen
Kvalitetsansvarlig:	Sidsel Ahlmann Jensen
Fagfelt:	Logistikk og innovasjon
Emneord:	Bylogistikk, automatisering, system, autonome kjøretøy

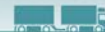
## Kort sammendrag

Bruk av høyt automatiserte kjøretøy i sisteleddsdistribusjon er en spennende utvikling som kan bidra til å møte flere samfunnsutfordringer. Rapporten beskriver ulike typer av kjøretøy for bakkegående varelevering i by, og finner at de kan bidra til oppnåelse av mål som er viktig for logistikkaktører og samfunn. Fordeler og ulemper for bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering er diskutert. Begrensninger i kjøretøyteknologi og systemer for varelevering og bylogistikk betyr at relativt få bruksområder er aktuelle i dag. Statens vegvesen og andre offentlige aktører kan spille flere viktige roller for å sikre at implementering av automatiserte kjøretøy i varelevering på lengre sikt skjer i tråd med samfunns mål.

## Summary

Use of highly automated vehicles for last mile distribution is an exciting development that could help meet several societal challenges. The report describes different types of vehicles for land-based urban goods delivery and finds that they can help achieve goals that are important for logistics actors and society. It describes the pros and cons of using automated vehicles for delivering goods. Limitations of current vehicle technology and goods delivery systems means there are still relatively few realizable use areas today. We describe what the Norwegian Public Roads Authority and other public actors can do to help ensure that automated vehicles are implemented in line with societal values and goals.

Transportøkonomisk institutt (TØI) har opphavsrett til hele rapporten og dens enkelte deler. Innholdet kan brukes som underlagsmateriale. Når rapporten siteres eller omtales, skal TØI oppgis som kilde med navn og rapportnummer. Rapporten kan ikke endres. Ved eventuell annen bruk må forhåndssamtykke fra TØI innhentes. For øvrig gjelder [Åndsverklovens](#) bestemmelser.



# Forord

Teknologien for automatiserte kjøretøy for varelevering i byområder er under utvikling. I dag er flere kjøretøy for varelevering tilgjengelig som kan kjøre autonomt på avgrensede strekninger under visse betingelser. De krever en menneskelig operatør som kan overta styringen ved behov. Denne rapporten ser på hvordan varelevering med automatiserte kjøretøy i by kan se ut i fremtiden og hvordan bruken av slike kjøretøy kan bidra til måloppnåelse for Statens vegvesen og for logistikkaktører. Rapporten ser også på hvilke roller Statens vegvesen kan ha for å styre denne utviklingen i tråd med viktige samfunns mål.

Det forventes at teknologisk innovasjon vil spille en viktig rolle i oppnåelse av Statens vegvesens toppmål. Et aktuelt program i den forbindelse er Statens vegvesens ITS program som er delt inn i tre områder: fremtidens trafikkstyring, fremtidens kontrollfunksjon og forberedelse til automatisering. Det sistnevnte ser blant annet på i) automatisert kollektivtrafikk og vareleveranser i samarbeid med markedet og andre offentlige aktører, ii) hvilke konsekvenser automatiserte transportere har når de blandes med vanlig trafikk, og iii) Statens vegvesens rolle som tilsynsmyndighet for fremtidens vareleveranser. Et område som det trengs mer kunnskap om er hvordan varelevering med høyt automatiserte kjøretøy vil kunne påvirke byområder, bylogistikk, næringsliv, trafikantenes opplevelser og oppfyllelse av Statens vegvesens toppmål.

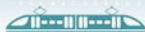
Denne rapporten beskriver resultatene av prosjektet «AUTOBY: Automatisert varelevering i by» som ble gjennomført fra august 2022 til juni 2023. Prosjektet har vært finansiert av Statens vegvesen. Kontaktpersoner fra Statens vegvesen har vært Magnus Roger Göran Larsson og Toril Presttun. Fra TØI har Ross Phillips vært prosjektleder fra juni til desember 2022 og fra april 2023. Elise Caspersen var prosjektlederen fra januar til mars 2023. Elise hadde hovedansvar for feltstudien og intervjuene med Posten og Statens vegvesen. Ross hadde ansvar for den metodiske tilnærmingen og resten av intervjuene. Howard Weir gjennomførte litteraturgjennomgangen og skrev kapittel 4.1 og Vedlegg 1. Alle tre forfattere deltok i flere intervjuer og observasjoner og har skrevet resten av rapporten sammen. Sidsel Ahlmann Jensen har kvalitetssikret rapporten og Trude Kvalsvik har stått for endelig redigering.

Flere logistikkaktører forbereder seg på økt bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering. En av disse er Posten Bring som i 2022 testet en fortausrobot for sisteleddsdistribusjon på Aker Brygge i Oslo. TØI ønsker å takke Postens avdeling for Fremtidsteknologi og kontaktpersonene Kristine Løvflaten Koslung, Drifa Danielsdottir og Ivar Josefsson for deres bidrag og involvering i prosjektet og at vi fikk diskutere med dem og observere Postens eksperiment med fortausroboten.

Oslo, november 2023  
Transportøkonomisk institutt

Bjørne Grimsrud  
Administrerende direktør

Frants Gundersen  
Avdelingsleder



# Innhold

## Sammendrag

### Summary

<b>1</b>	<b>Innledning.....</b>	<b>1</b>
1.1	Bakgrunn .....	1
1.2	Postens autonome fortausrobot .....	2
1.3	Formål .....	4
1.4	Omfang og begrepsbruk .....	4
<b>2</b>	<b>Metode.....</b>	<b>5</b>
2.1	Forskningsspørsmål og aktiviteter .....	5
2.2	Datakilder.....	5
2.3	Systemanalyse.....	8
<b>3</b>	<b>Varelevering i by i dag .....</b>	<b>10</b>
3.1	Hvilke mål har logistikkaktører for varelevering i by og hvordan gjør de det? .....	10
3.2	Sentrale funksjoner og målparametere.....	11
3.3	Utfordringer for oppnåelse av logistikkaktørenes mål .....	12
3.4	Utfordringer for oppnåelse av Statens vegvesen sine toppmål .....	14
<b>4</b>	<b>Automatiserte kjøretøy og effekter på måloppnåelse.....</b>	<b>16</b>
4.1	Automatiserte kjøretøy for varelevering.....	16
4.2	Kan kjøretøy for automatisert varelevering bidra til måloppnåelse for logistikkaktørene? .....	20
4.3	Hvordan vil automatiserte kjøretøy påvirke Statens vegvesens toppmål? .....	24
<b>5</b>	<b>Fremtiden for varelevering .....</b>	<b>30</b>
5.1	Begrensninger på bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering i på kort sikt .....	30
5.2	Realiserbare bruksområder .....	31
5.3	Statens vegvesens rolle.....	34
<b>6</b>	<b>Hva trenger vi å vite om automatisert varelevering fremover? .....</b>	<b>40</b>
	<b>Referanser .....</b>	<b>42</b>
	<b>Vedlegg.....</b>	<b>46</b>
Vedlegg 1.	Litteraturstudie.....	47
Vedlegg 2.	Skjema om samtykke og personvern.....	55
Vedlegg 3.	Intervjuskjema brukt med bransjeaktører .....	57
Vedlegg 4.	Intervjuskjema brukt med bransjeaktører som deltok i feltstudien .....	59
Vedlegg 5.	Fokusgruppeintervju med internasjonale fageksperter.....	60
Vedlegg 6.	Varelevering i by: Systemanalyse .....	61
Vedlegg 7.	Erfaringer fra feltstudien .....	62
Vedlegg 8.	Funksjoner terminal-hub-kunde.....	82

# Automatiserte kjøretøy for varelevering i by

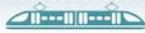
## Et systemperspektiv

TØI rapport 1970/2023 • Forfattere: Ross Owen Phillips, Howard T. Weir IV, Elise Caspersen • Oslo 2023 • 82 sider

- Høyt automatiserte kjøretøy for bakkegående varelevering i by kan klassifiseres som fortausroboter, følgeroboter, kjøretøy for bruk på lavhastighetsvei og kjøretøy for bruk på høyhastighetsvei.
- For logistikkaktører har automatiserte kjøretøy potensialet til å bidra til effektivitet, trafiksikkerhet, sosialt ansvar, miljøvennlig varelevering og varelevering som er praktisk for kundene.
- Automatiserte kjøretøy kan også hjelpe logistikkaktøren til å løse utfordringer knyttet til tilgang til varemottakene, økende kundeforventninger, sjåførmangel og høye sjåførkostnader.
- For samfunnet kan bruk av automatiserte kjøretøy for varelevering i by bidra til økt effektivitet, redusert energibruk, økt kapasitet på veinettet, enklere nedprioritering av bil i byområder, økt universell utforming og bedre arbeidsforhold.
- Begrensninger for i) kjøretøyteknologi og ii) vareleveringssystemer betyr at relativt få bruksområder er aktuelle i den nærmeste fremtiden.
- De mest sannsynlige bruksområder er levering med fortausroboter, transport langs ukompliserte strekninger fra terminal til terminal og bruk av følgeroboter for å øke sjåførens kapasitet.
- For å sikre at implementering av teknologien skjer i tråd med samfunns mål kan Statens vegvesen ta stilling til åtte ulike roller de kan spille, inkludert samarbeid med private aktører på testing, behov for datadeling, modifisering av infrastruktur, og fjernstyring.

## Bakgrunn og hensikt

Bruk av høyt automatiserte kjøretøy i sisteleddsdistribusjon er en spennende utvikling som kan bidra til å møte samfunnsutfordringer knyttet til sjåførkostnader, trafiksikkerhet, fremkommelighet og arbeidsforhold. Likevel vet vi ikke hvordan automatiserte kjøretøy vil påvirke økonomiske, miljømessige og sosiale kostnader når og hvis de blir integrert som del av et komplekst system for varelevering i by. Det er også ubesvarte spørsmål knyttet til endringer i regelverket og infrastrukturen som trengs for at varelevering med automatiserte kjøretøy skal fungere best mulig.



Så vidt vites foreligger det lite dokumentasjon om samfunnsnyttene av automatiserte kjøretøy som del av et system for varelevering i by, verken i Norge eller andre land. Det er behov for mer kunnskap om hvordan bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering kan påvirke oppnåelse av viktige samfunns mål, og hvordan implementering vil kreve tilpasninger til omkringliggende logistikksystemer, by- og veiinfrastruktur og regelverk.

Denne rapporten presenterer resultatene fra et prosjekt som har satt bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering i et helhetlig samfunnsnytte-perspektiv. Prosjektet var finansiert av Statens vegvesen som ønsket å vite hvorvidt den fremvoksende kjøretøyteknologien ville fremme eller hemme for varelevering som er i tråd med samfunnets interesser. Statens vegvesen ville også vite hvilken rolle de kunne spille for å sikre at automatiserte kjøretøy i bylogistikk innføres på en måte som er gunstig for oppfyllelse av sine toppmål.

## Metoder

For å svare ut spørsmålene ovenfor har vi brukt følgende datakilder;

- **Dokumentanalyse**, blant annet av TØIs rapporter om bylogistikk
- **Litteraturgjennomgang** om bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering i by
- **Intervjuer** med;
  - 7 representanter for logistikkaktører og offentlige aktører som jobber med varelevering i by
  - 6 forskere og konsulenter fra nordiske land med kunnskap om automatiserte kjøretøy og bylogistikk
  - 3 personer som leverer varer i by med lette elektriske kjøretøy
  - 8 representanter fra ulike organisasjoner som deltok i en pilot med fortausrobot som Posten gjennomførte på Aker brygge i Oslo
- **Feltobservasjoner** og intervjuer med trafikanter gjort under testing av fortausroboten på Aker brygge.
- **Deltakelse på internasjonale seminarer** om menneske-maskin interaksjon og standardiseringsbehov for fortausroboter.

En grunnleggende hypotese har vært at vi ikke kan forstå implikasjonene av automatisert varelevering for samfunnet, hvis ikke vi først forstår hvorfor og hvordan logistikkaktørene vil bruke disse kjøretøyene i varelevering.

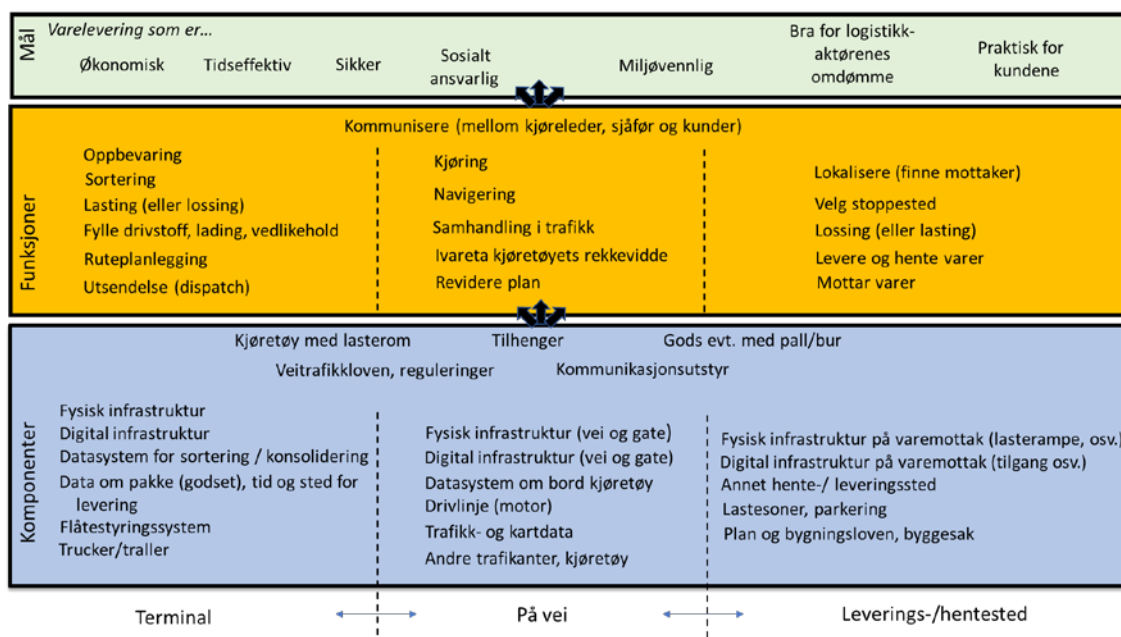
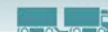
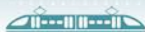
## Varelevering i by i dag

### Logistikkaktørenes mål

En systemanalyse av varelevering i by viser at logistikkaktører ønsker seg varelevering som er økonomisk, tidseffektiv, sikker, sosialt ansvarlig, klima- og miljøvennlig, bra for omdømmet og praktisk for sine kunder.

### Systemfunksjoner

I hvilken grad logistikkaktørenes mål er oppfylt avhenger av gjennomføring av 17 ulike systemfunksjoner (figur S1).



Figur S1: Komponenter og funksjoner som påvirker oppnåelse av logistikkaktørens mål for varelevering.

To systemfunksjoner er sentrale i den forstand at de har en stor påvirkning på logistikkaktørers måloppnåelse:

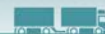
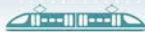
1. **Organisering av utsendelser (dispatch)** er en prosedyre der behov for varelevering koordineres med tilgjengelige sjåførere og kjøretøyer. Utsendelser er organisert avhengig av tidsperioden og sted som er bestilt for vareleveringen, antall og type av varer som kan samkjøres og hvilke kjøretøy er tilgjengelige i flåten. Hvordan utsendelser organiseres påvirker tidspunkt for varelevering, antall varer og kjøretøy og typer kjøretøy som utsendes, gatene og veiene kjøretøyene sendes til (rutevalg), vekten av transporten og tettheten mellom adresser for varelevering/-henting.
2. **Kjøring og navigering** av kjøretøyet som er sendt ut er også sentralt, og er med på å bestemme kjørehastighet, tid brukt på varelevering, avstand til andre kjøretøy og trafikanter, kjøretøyets plassering i kjørebane (arealbruk), energibruk, utslipp, støy og forutsigbarhet for andre trafikanter. Kjøring påvirker også andre funksjoner som lokalisering.

## Komponenter

Hvordan systemfunksjoner gjennomføres påvirker i hvilken grad logistikkaktørens mål for varelevering er oppfylt. Systemfunksjoner avhenger av hvilke komponenter som er tilgjengelige i systemet for varelevering, hvilke som er brukt og hvordan de er brukt. Det sistnevnte bestemmes av hvordan mennesker og teknologi organiseres i systemet. Mål, funksjoner og komponenter vi identifiserte oppsummeres i figur S1.

## Kjøretøyet er del av et komplekst system for varelevering

Ved å påvirke andre komponenter og funksjoner, påvirker valg av kjøretøy alle målene som logistikkaktørene ønsker å oppnå. Videre har kjøretøyet en stor påvirkning på de to sentrale funksjonene *organisering av utsendelser* og *kjøring*. Til tross for kjøretøyets synlighet i varelevering, viser systemanalysen at varelevering i by er et komplekst system der transport av varer avhenger av mange andre komponenter enn kjøretøyet. For å forstå mulige bruksområder for og mulige effekter av automatiserte kjøretøy i varelevering, må vi ta hensyn ikke bare til kjøretøyteknologien, men også til veinettet kjøretøyet brukes på, den fysiske og digi-

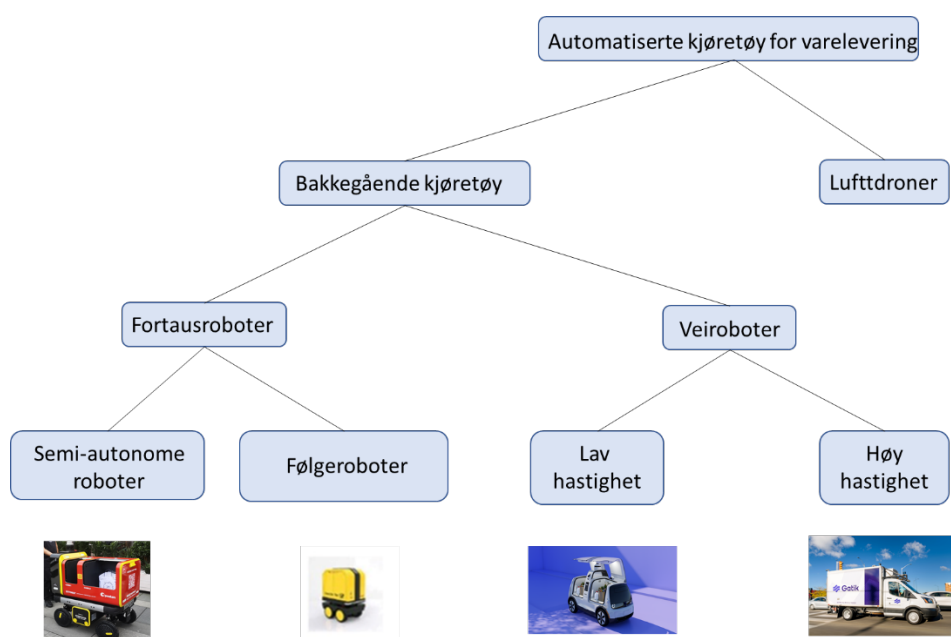


tale infrastrukturen på terminalen, plassering av terminaler i forhold til leveringsadressene, det omkringliggende logistikksystemet, ladeinfrastrukturen, regelverket, infrastrukturen på varemottaket med mer. Hvordan bruk av kjøretøyet er organisert som del av et større logistikksystem har også mye å si – for eksempel om ruteplanlegging er forhåndsbestemt eller utvikler seg underveis under distribusjonen.

## Automatiserte kjøretøy for varelevering

De fleste automatiserte kjøretøy for varelevering har teknologi for automatisering på nivå 4. Det vil si at kjøretøyet kan kjøre autonomt på avgrensede strekninger eller under visse betingelser, men at det kreves at en menneskelig operatør kan overta styringen eller ta beslutninger i uventede eller komplekse situasjoner.

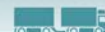
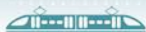
Forskjellige kategorier for automatiserte kjøretøy i varelevering gis i figur S2.



Figur S2: Forskjellige kategorier for automatiserte kjøretøy (tilpasset fra Buldeo Rai et al. 2022).

Fortausroboter med nivå 4 automatiseringsteknologi brukes i pilotprosjekter i stadig flere byer verden over, for å levere varer på korte, enkle strekninger. På grunn av lav hastighet er fortausroboter enklere å innføre fra et regulatorisk perspektiv og et sikkerhetsperspektiv, sammenlignet med luftdroner over byer eller «vanlige» varebiler med teknologi for automatisering montert. Automatiserte kjøretøy som kan brukes på veier med lav hastighet har mer kapasitet enn fortausroboter, så disse kan brukes til å gjøre flere leveranser over et større område. Samtidig er fremkommelighet redusert sammenlignet med roboter som kan ferdes på fortau. Automatiserte kjøretøy som kan brukes på vei med høy hastighet har begrenset potensiale for varelevering i bysentra, men kan være nyttige for rutinetransport av store varevolum mellom terminaler eller fra en terminal utenfor byen inn til byens hovedveinett. På grunn av relativ høy vekt og hastigheter er regulatoriske krav strengere enn for automatiserte kjøretøy med lav hastighet, noe som kan sees som en ulempe for automatiserte kjøretøy med høy hastighet.





## Konsepter og forretningsmodeller

I litteraturen ser vi fire hovedkonsepter for bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering:

1. **Direkte:** Lastes på terminal og transporteres direkte til kunden.
2. **Fast distribusjonssenter:** Automatisert kjøretøy leverer ut fra en fast hub i nærheten av leveringsområdet.
3. **Mobilt distribusjonssenter:** Større automatisert kjøretøy brukes som mobilt distribusjonssenter for å transportere pakker og/eller mindre automatiserte kjøretøy til leveringsområdet.
4. **Følgeroboter («Byplatooning»):** Automatisert kjøretøy, eventuelt koblet i rekke, følger en person som leverer pakker eller et ledende automatisert eller manuelt styrt kjøretøy. Der det ledende kjøretøyet for eksempel er et bud til fots eller en lastesyklist kan de automatiserte kjøretøyene øke kapasiteten til lastesyklister eller menneskelige sjåførere på en fleksibel måte.

Basert på kommentarer fra bransje- og fageksperter er det sannsynlig at automatiserte kjøretøy vil medbringe nye forretningsmodeller for varelevering. Store avsendere som grossister vil trolig kunne jobbe direkte med bilprodusentene som vil tilby nye flåtetjenester, istedenfor at en tredjepart (transportøren) brukes. *Total cost of ownership* (TCO) vil påvirke hvordan bruk av automatiserte kjøretøy blir organisert.

## Kan automatiserte kjøretøy bidra til å oppfylle logistikkaktørens mål?

Tabell S1 oppsummerer funn for hvordan automatiserte kjøretøy kan bidra til logistikkaktørens måloppnåelse. Tabellen viser også at det er behov for mer testing og utvikling av kjøretøyt teknologi og støttende systemer for å finne ut i hvilken grad de potensielle bidragene er realiserbare.

Tabell S1: Hvordan automatiserte kjøretøy kan bidra til logistikkaktørens måloppnåelse.

Mål	Hvordan kan automatisert kjøretøy bidra?	Spørsmål / utfordringer
Økonomisk og tidseffektiv	<b>Redusere sjåførkostnader</b>	Sjåfører og syklister gjennomfører mange andre oppgaver enn kjøring. Nye roller blir nødvendig.
	<b>Økt produktivitet:</b> Uten behov for sjåfør, kan flere kjøretøy driftes lengere for å utvide kapasitet i flåten.	Mennesker trengs fortsatt i systemet, hvor mange ansatte per kjøretøy blir det?
	<b>Optimal organisering:</b> Uten behov for sjåfør, kan flere og ulike typer av kjøretøy driftes for optimal dispatch	Hva vil det koste å kjøpe/leie drifte en flåte? Kan varene leveres på usosiale tider hvis mennesker trengs for overvåking osv.?
	<b>Materielle kostnadsbesparelser:</b> Er kjøringen tryggere, blir det også færre materielle skader i trafikken / på terminaler.	Fortsatt usikkerhet rundt systemeffekter. Innkjøpsprisen er høyere. Nye materielle kostnader, f.eks. hærverk?
Trafikk-sikkerhet	Kjøretøyene blir lettere og medfører <b>mindre vekt</b> i kollisjon. Er kjøringen tryggere, <b>mindre sjanse for kollisjoner</b> . Kjøreatferden <b>mer forutsigbar</b> for andre trafikanter.	Avhengig av kjøreteknologi, datakvalitet, standardisering og kommunisering (MMI), type vei som er valgt, tid på dag (synlighet, trafikkmengde), valg av stoppested, infrastrukturelle tilpasninger.
Sosialt ansvarlig	<b>Forbedre arbeidsforhold</b> i varelevering: mindre stress i trafikken, nye jobber som krever flere ferdigheter.	Ukjent om automatisering er noe som ansatte selv ønsker.
Miljø-vennlig	<b>Overgangen til elektriske kjøretøy blir enklere</b> uten mennesker hvis skiftet til lette el-kjøretøy krever flere kjøretøy + sjåfører. <b>Bidra til energibesparelser</b> som del av en mer sømløs varelevering.	Mål og tiltak allerede iverksatt som stimulerer for bruk av elektrisk kjøretøy i varelevering. Mer sømløs varelevering krever at systemer for lasting, lossing, flåtestyring osv. blir også automatisert.
Praktisk for kundene	Kan være <b>mer tidseffektivt</b> , fører til <b>reduert kostnader</b> for levering, og pakker som <b>kommer videre frem</b> til kunden.	Mer tidseffektiv varelevering er avhengig av mye mer enn bare kjøretøyet. Kundene kan bli nødt til å ta på seg nye oppgaver.
Bidra til omdømme	Kan bli sett som positivt at forretningen tar i <b>bruk ny teknologi</b> og forbedre varelevering.	Kundene og samfunnet må ha tillit til teknologien.

Basert på resultatene fra intervjuene og systemanalysen har vi identifisert utfordringer som logistikkaktører har når de prøver å gjennomføre funksjoner for å oppnå sine mål. Analysen viser at automatiserte kjøretøy kan også bidra til løse noen av disse utfordringer, men ikke alle (tabell S2).

Tabell S2: Kan automatiserte kjøretøy bidra til å møte utfordringene logistikkaktører står overfor når de leverer varer i by?

Dårlig tilgang til varemottak og hentested	✓
Kundene krever mer fleksibelt valg av hentepunkt og tidspunkt for levering	✓
Sjåførmangel og utfordringer med rekruttering og høy omsetning	✓
Fremkommelighet for varelevering	?
Forutsigbart bybilde (veiarbeid, trafikkø osv.)	✗
Mange skjulte utfordringer som sjåførene må løse	✗

En spesiell utfordring for implementering av automatiserte kjøretøy er de mange «skjulte» oppgaver og snarveier sjåfører må gjennomføre og ta for å få til en smidig varelevering. Overføring av varer fra kjøretøy til mottaker, henting av varer fra kunder og kundekontakt er eksempler på oppgaver som er vanskelig å automatisere.



## Hvordan kan bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering påvirke samfunns mål?

Tabell S3 oppsummerer vår vurdering, basert på funn fra våre undersøkelser, av hvordan bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering kan bidra til oppfyllelse av samfunns mål, nærmere presisert som Statens vegvesens toppmål.

Tabell S3: Kan automatiserte kjøretøy i varelevering bidra til oppfyllelse av Statens vegvesens toppmål?

Toppmål	Overall vurdering om bidrag fra bruk av automatisert kjøretøy i varelevering
Mer for penger fra tiltak som bidra til bærekraftsmål	✓ Mer økonomisk bærekraftig varelevering Redusert energibruk i varelevering (men se også under) Økt kapasitet på vei- og stinettverk Frigjøre areal brukt av store varebiler Lette nedprioritering av bil i by
Effektiv bruk av ny teknologi	✓ Bidra til å takle sjåførmangel – en utfordring for samfunnet Sosial bærekraft gjennom forbedrede arbeidsforhold (mindre «social dumping») Universell utforming gjennom økt standardisering av den fysiske vei- og stiinfrastrukturen
Bidra til oppfyllelse av mål for klima og miljø	? Kan bruke færre ressurser men fører til flere kjøretøy km Energibruk avhenger av sømløs logistikk som vil kreve store systemendringer Tiltak for redusert utslipp fra varelevering allerede har en effekt <i>First-time delivery</i> blir trolig vanskeligere uten sjåfør – flere bomturer?
Trafikksikkerhet for alle	? Fjerne begrensningene som menneskelige sjåfører gir for trafikksikkerhet Systemeffekter er ukjent Fra 1 sjåfør til flere kjøretøy-operatører i nye roller
Fremkommelighet for alle (ikke bare varelevering)	? Om det fører til flere kjøretøy, kan fremkommeligheten bli verre Usikkerhet rundt hvordan samhandling i trafikken blir Kan øke fremkommelighet ved å redusere kjøretøy avstand eller øke forutsigbarhet i trafikken

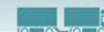
De potensielle fordelene som automatiserte kjøretøy har for oppfyllelse av målene «mer for penger» og «effektiv bruk av ny teknologi» kan ikke tas for gitt, og det er *potensielle* ulemper som tabellen ikke oppsummerer. Et eksempel er om automatisert varelevering kunne føre til mindre fysisk aktivitet blant ansatte og kunder, med implikasjoner for helsemessig bærekraft. Analysen er også basert på noen antakelser som er viktig å understreke. En er at innføring av automatiserte kjøretøy ikke vil kreve stor oppgradering og ekstra vedlikehold av vei- og stinettverket, noe som ville påvirke målet «mer for penger». En annen er at det finnes tilstrekkelig aksept for og tillit til teknologien som innføres i samfunnet.

Vi er usikre på om automatiserte kjøretøy vil føre til bedre trafikksikkerhet for alle, ettersom dette ikke bare er avhengig av kjøretøyteknologi, men også faktorer som andre trafikanter, sensorvedlikehold og datakvalitet og -hastighet. Her blir det viktig å styre risikoene på systemnivå og vurdere hvordan resten av trafikksystemet vil måtte tilpasse seg de nye kjøretøyene. Det blir også viktig å tenke på hvordan de som av og til vil måtte gripe inn og operere kjøretøyet, vil kunne gjøre dette på sikkert vis. Noen eksempler på de som kan spille en slik rolle er fjernoperatører eller ansatte på terminal. Der automatiserte kjøretøy interagerer med andre trafikanter vil en del standardisering kreves.

## Fremtidig utvikling

### Begrensninger

Det er begrensninger i systemet som automatiserte kjøretøy blir brukt i, som må tas hensyn til for å forstå hvordan automatisert varelevering blir de kommende år:



- Begrensinger i kjøretøyteknologi, begrenset automatisering av omkringliggende systemer (lasting, lossing, lading, kobling til terminaler, tilgang til terminal eller vare-mottak) og begrensninger knyttet til fjernstyring (datahastighet, standardisering, kompetanse) betyr at;
  - relativt enkle bruksområder må finnes for automatiserte kjøretøy i varelevering, som vil kun kunne opereres under visse betingelser (lys- og værforhold osv.)
  - mennesker må være tilgjengelige og samarbeider med kjøretøyets start- og endpunkt
- Mennesker vil trenge i systemet for varelevering en lang tid fremover
- Bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering til kunder vil kreve ekstra oppgaver eller omorganisering hos kunden—både for B2C og B2B levering
- Fortsatt aksept for teknologi avhenger av at produkter og tjenester som er tilpasset bruk av automatiserte kjøretøy utvikles før de tas i bruk
- Det trengs omorganisering og teknologisk kompetanse hos logistikkaktøren

### Realiserbare bruksområder

Gitt disse og andre begrensningene, har vi identifisert de mest realiserbare bruksområder for automatiserte kjøretøy i varelevering:

- Levering av mindre varer på lav hastighet med fortausroboter
- Rutinemessig transport av høye mengder av varer fra terminal til omlastningssenter i by langs en enkel og fortrinnsvis dedikert strekning
- Andre
  - Følgeroboter for å øke kapasiteten av menneske som leverer
  - Luftdroner for levering ut fra byterminaler over ubefolkede områder<sup>1</sup>

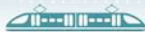
### Roller Statens vegvesen kan spille

Det er viktig at Statens vegvesen og andre offentlige aktører er med på å påvirke utviklingen av automatiserte kjøretøy i varelevering, som ellers vil fremdrives av private aktører som ikke tenker først og fremst om samfunns mål. For Statens vegvesen kan roller i følgende åtte områder være aktuelle:

1. Tydeliggjøre verdien for samfunn av å bruke automatiserte kjøretøy i varelevering.
2. Samarbeide med private aktører for å finne ut hvordan vei- og gatenettet kan modifiseres på enkle og kostnadseffektive måter for å legge til rette for implementering av automatiserte kjøretøy i varelevering der dette er ønskelig. Ta en helhetlig tilnærming til eventuell modifisering av utformingsregler for vei- og gateutforming, som inkluderer behovene til automatiserte kjøretøy.
3. Fortsette å jobbe med kommuner, fylkeskommuner og private aktører om «bynære» fysisk infrastruktur og konsepter for varelevering (byhub osv.) som tilrettelegger for bruk av lettere elektriske kjøretøy i varelevering—og dermed automatiserte kjøretøy i varelevering.
4. Vurdere nye forslag om felles infrastruktur for varelevering som ulike private aktører benytter seg av («bussholdepass-modell»).

---

<sup>1</sup> Luftdroner har vært utenfor prosjektets omfang, men etter økende interesse og flere demonstrasjoner med mulighetene luftdroner gir for varelevering ilt. prosjektperioden, er de aktuelle for begrenset bruk i varelevering i eller ut fra byområder.



5. Samarbeider med private aktører og Kartverket på utvikling / veksling av kartdata som trengs for optimal drift av automatiserte kjøretøy i varelevering og andre områder. Ta opp utfordringer knyttet til eierskap av kartdata.
6. Godkjenning / sertifisering av operasjoner for fjernovervåking og -kontroll av automatiserte kjøretøy.
7. Bidra til utvikling av regelverket som gjelder for kjøretøyets egenskaper, klassifisering og bruksområde. Det må tenkes grundig om hvilke typer kjøretøy kan ferdes hvor, ettersom dette har mange konsekvenser ikke bare for bybrukere men for oppfyllelse av logistikkaktørens mål. Regelverket for typer av varer som kan transporteres, trafikkregler og ansvarsforhold må også utvikles.
8. Bidra til utvikling av standarder som vil bidra til forutsigbarhet, trafiksikkerhet og universell utforming når automatiserte kjøretøy for ulike produsenter opereres i samme byområde.
9. For å lære om effektene av bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering, fremme evaluering av de samlede effektene av varelevering på kritiske målparametere som påvirker oppfyllelse av Statens vegvesens toppmål knyttet til energibruk, utslipp, arealbruk og antall skadde i trafikken. Utnytte muligheter som behov som automatiserte kjøretøy har for Statens vegvesens veidata gir for mer åpen datadeling blant private logistikkaktører.

### Refleksjoner og behov for kunnskap

Automatiserte kjøretøy vil ta lengre tid å introdusere for varelevering i by sammenlignet med passasjertransport, som har mer rutinemessige faste ruter, der det er lettere å tilpasse rutene og systemene til automatisert kjøring, og der fordelene er enklere å se.

Vi har sett flere kunnskapshull som må fylles før vi vet hvordan varelevering i by med bruk av automatiserte kjøretøy blir de kommende år. Logistikkaktører bør forstå hva det egentlig betyr å fjerne sjåfører fra leveringssystemer, spesielt når det gjelder kundekontakt og -service. Nye roller for eksisterende og nye ansatte må utredes og kompetanse for drift og vedlikehold av kjøretøyt Teknologi og datasystemer må på plass. Samarbeid med offentlige aktører på hvordan kapasiteten på veinettverket kan best utnyttes blir viktig å forstå før logistikkaktører satser på automatisering for fullt. Produkter og tjenester som passer sammen med automatisert varelevering må også på plass for at kundeaksept for den nye teknologien ikke blir redusert. Logistikk-systemer som utnytter potensialet som automatiserte kjøretøy gir for sømløs varelevering blir også viktig fremover.

For Statens vegvesen og andre offentlige aktører, blir det viktig å ta stilling til hvorvidt de ulike bruksområdene for automatiserte kjøretøy i varelevering kan være gunstig for oppfyllelse av sine toppmål. Refleksjon på mulige roller for veieieren som vi identifiserer her kan være et godt utgangspunkt for å identifisere forskningsbehov fremover. Testing med pågående piloter, med private aktører, og med kommunene og fylkeskommunene, blir en viktig arena. Her er det behov for å teste hele flåter eller vareleveringssystemer, og ikke bare isolerte kjøretøy.



# Automated vehicles for urban goods delivery

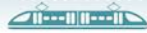
## A system perspective

TØI Report 1970/2023: Ross Owen Phillips, Howard T. Weir IV, Elise Caspersen • Oslo 2023 • 82 pages

- Highly automated vehicles for land-based urban goods delivery can be classified as pavement robots, following robots, vehicles for use on low-speed roads and vehicles for use on high-speed roads.
- For logistic actors automated vehicles can help improve the effectivity, productivity, traffic safety, social responsibility, environmental sustainability and customer friendliness of urban goods deliveries.
- Automated vehicles can also help logistics actors meet the challenges of accessing goods delivery points, increasing customer expectations, driver shortages and high driver costs.
- For society, use of automated vehicles for urban goods deliveries can help increase effectiveness, reduce energy use, increase road network capacity, assist in down-prioritizing cars in city centres, and improve universal design and working conditions.
- Limitations for i) vehicle technology and ii) goods delivery systems means that relatively few use areas will be realizable in the near future.
- The use areas most likely to be realizable first are delivery with pavement robots, transport along simple stretches from terminal to terminal, and use of following robots that increase driver capacity.
- To ensure that technology is implemented in line with societal goals, the Norwegian Public Roads Authority (NPRA) should consider eight different roles they can play; these include collaborating with private actors on testing, data sharing and infrastructure modification and remote control needs.

## Background

Use of highly automated vehicles in last mile delivery is an exciting development that can help meet societal challenges related to driver costs, traffic safety, traffic flow and work conditions. Despite this we know little about how automated vehicles will influence the economic, environmental and social costs when or if they become integrated as part of complex urban



goods delivery systems. Unanswered questions also remain concerning regulatory and infra-structural changes needed for automated goods delivery to function optimally.

As far as we know there is little documented knowledge about the societal value of automated vehicles as part of a system for urban goods delivery, for either Norway or other countries. There is need for more knowledge on how the use of automated vehicles in goods delivery could potentially influence achievement of societal goals. We also need to know what changes will be needed to enable their wider implementation – to surrounding logistic systems, to city or road infrastructure or to laws and regulations.

This report presents the results of a project that has set use of automated vehicles in goods delivery in a holistic societal value-perspective. The project has been financed by the Norwegian Public Roads Authority (NPRA) who wished to know whether emerging technology would promote or hinder goods delivery in line with societal interests. NPRA also wanted to know which roles they can play to help ensure that automated vehicles for goods delivery will be introduced in a way that is favourable for achievement of its own goals.

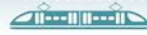
## Methods

To answer the above questions we use the following data sources:

- Document analysis, including TØI reports on urban goods delivery
- Literature review on use of automated vehicles in urban goods delivery
- Interviews with
  - 7 representatives of logistic actors and public actors working with city logistics
  - 6 researchers and consultants from Nordic countries, with knowledge of automated vehicles for use in city logistics
  - 3 persons who deliver goods in urban areas using manually driven light electric freight vehicles
  - 8 representatives from different organisations who participated in a pilot study of a pavement robot for deliveries in the Aker brygge area of Oslo
- Field observations and interviews with vulnerable road users under testing of the pavement robot in Aker brygge.
- Participation in international seminars on man-machine interaction and standardization needs for pavement robots.

A foundational hypothesis has been at we can not understand the implications of automated goods delivery for society without first understanding why and how logistic actors will use these vehicles for good delivery. The report therefore starts by mapping essential functions that need to be carried out in order to achieve urban goods delivery, before going on to consider i) critical challenges that logistics actors face when they carry out these functions; and ii) challenges that society faces when logistics actors carry out these functions. After examining different concepts for use of automated vehicles in goods delivery, we look at the effects their use will have on the achievement of logistics actor goals, and if they can help meet some of the challenges of urban goods delivery today. We also look at limitations on the use of automated vehicles in urban goods delivery, and then use this as a basis for considering the most realizable use areas. Finally, we look at roles NPRA can play to help ensure that automated goods delivery is implemented in line with its goals.





## Urban goods delivery today

### Logistic actor goals

A system analysis of urban goods delivery suggests that logistics actors want goods delivery that is economical, efficient, safe, socially responsible, climate-/environment-friendly, good for its reputation and practical for its customers.

### System functions

The extent to which logistic actor goals are achieved depend on successful execution of 17 system functions. Two of these are central in the sense that they have a large influence on the achievement of logistic actor goals:

1. **Dispatch** is a procedure where operations and goods delivery are coordinated with available drivers and vehicles. Dispatch depends on the time window and place ordered for goods delivery, the number and type of goods that can be combined, and type and availability of vehicles in the delivery fleet. Dispatch influences the time of day of goods delivery, the number of vehicles and goods that are sent out, the streets and roads the vehicles pass through (route choice), mass and volume transported, and density of addresses for delivery or collection.
2. **Driving and navigation** of the vehicle that is sent out is also a central function, as it helps decide vehicle speed, total time used on goods delivery, distance to other vehicles and road users, vehicle placement in the road (which also has land use consequences), emission levels, energy use, vehicle noise and predictability for other road users (traffic safety). Driving also influences other system functions like “localization” of delivery or collection points.

### System components

How system functions are executed influences goal achievement. Execution of functions in turn depends on which system components (vehicles, technology, data...) are available, which are selected for use, and how they are used in practice—which again depends on how people, technology, infrastructure, and work are organized in the goods delivery system. Figure S1 summarises goals, functions and components identified.

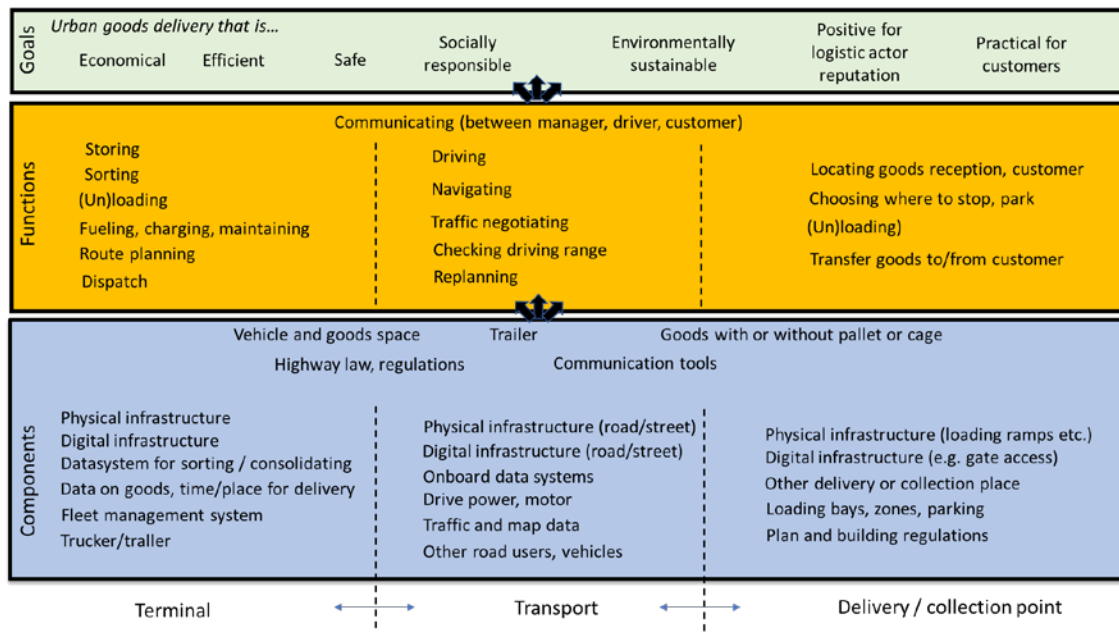


Figure S1: System components and functions influencing urban goods delivery

## The vehicle is a central component of a complex system for goods delivery

Through its influence on other components and functions, choice of vehicle affects each logistic actor goal. Choice of vehicle also has a large influence on the two central functions of dispatch and driving.

Despite the salience of the vehicle's role, the system analysis shows that urban goods delivery depends on many other components. To understand potential use areas for and possible effects of automated vehicles in goods delivery, we need to consider not only the new vehicle technology but the road network the vehicle will be used on, the physical and digital infrastructure at the terminal, the location of terminals in relation to delivery/collection points, the surrounding logistics system, the charging infrastructure, regulatory framework, the infrastructure at the goods reception. How the vehicle is organized as part of the larger logistics system has a lot to say – for example, whether routes are planned before delivery starts or whether they are developed as delivery progresses or which factors are considered when organizing dispatch.

## Automated vehicles for urban goods delivery

Most highly automated vehicles for goods delivery that are available today have level 4 automation technology. This means that the vehicle can drive autonomously on delimited stretches under certain conditions, but that it needs a human operator to be available to take over control of the vehicle or make decisions in the event of unexpected or complex situations.

Different categories for automated vehicles in urban goods delivery are summarized in Figure S2.

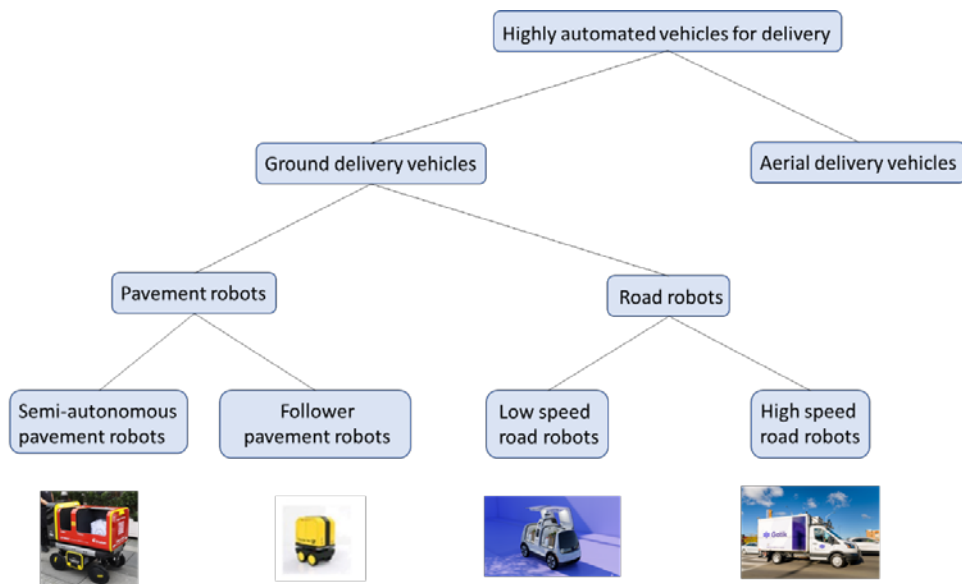


Figure S2: Categories of highly automated vehicles, adapted from Buldeo Rai et al., 2022.

Pavement robots with level 4 automation technology are being tested increasingly in pilot projects in larger cities across the world, for deliveries on short, simple stretches. Due to their low speed, they are simpler to implement from a regulatory and safety perspective when compared with aerial robots over cities or normal ground delivery vehicles fitted with automation technology. Smaller automated vehicles that can be used on roads with lower speed limits have more capacity than pavement robots, so can make more deliveries over a larger area. On the other hand, access to all parts of the road or path network will be lower than that of robots that can travel on pavements. Automated vehicles that can be used on high-speed roads have limited potential for delivery to city centres but can be useful for highly routine transport of large volumes of goods from terminals outside the city to ring road distribution centres. Due to their relatively high weight and speed, however, the regulatory demands are higher.

### Use concepts and business models

From the literature we have identified four main concepts for use of automated vehicles in urban goods delivery:

1. **Direct:** Goods loaded at terminals and transported direct to the customer.
2. **Fixed proximal distribution centre:** Automated vehicles deliver out from a permanent hub close to the delivery area.
3. **Mobile distribution centre:** Larger automated vehicles are used as mobile distribution centres to transport parcels and/or smaller automated vehicles to the delivery area.
4. **Following robots** (“city platooning”): Automated vehicles linked in a virtual chain follow a single leader “vehicle”, which is itself automated or manually driven; if the leader is a person walking or cycling, the automated following vehicles increase the capacity of people in the system in a flexible way.

From comments of branch experts and researchers it is likely that automated vehicles will result in new business models for goods delivery. Rather than using a third-party transporter, larger shippers and wholesalers, for example, will be able to work directly with vehicle manufacturers who will be able to offer new fleet services. Total cost of ownership (TCO) will also influence how use of automated vehicles is organized.

## Can automated vehicles help logistic actors achieve their goals?

Table S1 shows that automated vehicles can help logistic actors achieve their goals in several ways. The table shows that in order to assess the extent to which the potential contribution of automated vehicles can be realized, there is a need for more testing and development of vehicle technology and supporting systems.

Table S1: How automated vehicles can help logistic actors achieve their goals.

Goal	How can automated vehicles help?	Questions / Challenges
Economical and efficient delivery	<b>Reduce driver costs</b>	Drivers and cyclists carry out many other tasks than driving. New roles will be necessary.
	<b>Increased productivity:</b> With no need for a driver, more vehicles can be operated for longer, increasing fleet capacity.	People will still be needed in the system, how many staff per vehicle will there be?
	<b>Optimal organisation:</b> With no need for a driver, different types of vehicles can be combined for optimal dispatch.	What will it cost to purchase or rent vehicles and operate an automated fleet? Can goods be delivered at around the clock if people are needed for monitoring or in case of remote operations?
	<b>Save on material costs:</b> With smoother, safer driving there will be fewer material damages in traffic and at terminals.	Still uncertainty about system effects. Purchase costs will be higher. There may be new material costs e.g., from theft or vandalism if vehicles do not have driver deterrent.
Traffic safety	The vehicles will become lighter and carry <b>less weight</b> in a collision. If the driving is safer and consistent across vehicles, <b>less chance of collisions</b> . «Driver» behaviour could also be more predictable for other road users.	Depending on the safety of driver technology, data quality, cybersecurity, standardisation and communication, type of road used, time of day (visibility, traffic volumes), choice of stopping place, infrastructural adaptations.
Social responsibility	<b>Improve work conditions</b> in goods delivery: less stress in traffic, new and more varied jobs that demand more skills and qualifications.	Not known whether staff want to see automation.
Environmentally friendly	<b>The shift to electric vehicles will be facilitated</b> by driverless vehicles, if the shift to electric vehicles means more vehicles and drivers. <b>Contribute to energy savings</b> as part of more seamless logistics.	Goals and measures already working to stimulate use of electric vehicles in urban goods delivery. More seamless logistics only possible if systems for loading, unloading, fleet management etc. are also automated.
Practical for customers	Can save time (e.g., no need for driver breaks), lead to <b>reduced delivery costs</b> , and parcels that are delivered <b>closer to the customer</b> .	Saving time depends on much more than just the vehicle. Customers might need to take on new tasks (e.g., collect from vehicles).
Business reputation	Good for <b>business reputation</b> if new technology used to improve goods delivery.	Customers and society must trust the technology.

Based on the results of interviews and system analysis we identified challenges that logistics actors can have when they use automated vehicles to carry out functions in order to achieve their goals. The analysis shows that automated vehicles can help solve some of these challenges, but not all (see Table S2).

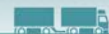
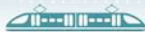


Table S2: Can automated vehicles help meet the challenges logistics actors have when they deliver goods in urban environments?

Poor access to customer's goods delivery and collection areas	✓
Customers demand more flexible choice of collection point and delivery time	✓
Driver shortage with challenges for recruitment and turnover	✓
Mobility and traffic flow for goods delivery vehicles	?
Predictable traffic (roadworks, queues etc.)	✗
Experienced drivers solve many frontline challenges by adapting and communicating	✗

A special challenge for implementation of automated vehicles is how to account for the many “hidden” tasks, workarounds and shortcuts that drivers normally carry out to “get goods delivery done”. Transfer of goods from the vehicle to the customer, collecting goods from the customer and customer relations are examples of tasks that will be difficult to automate.


## How can use of automated vehicles in urban goods delivery influence societal goals?

Table S3 summarizes our assessment, based on survey analysis, of how use of automated vehicles in goods delivery can help achieve societal goals in the form of NPRAs top goals.

Table S3: Can automated vehicles in goods delivery help achieve NPRAs goals?

Goal	Overall assessment of influence of using automated vehicles for urban goods delivery
«More bang per buck» from sustainability measures	✓ Goods delivery more economically sustainable Less energy needed for goods delivery (but see also below) Increased capacity on the road, street, and path network Free up city space currently occupied by large vans Reduce the need for cars in city centres
Effective use of new technology	✓ Help tackle driver shortage – a societal challenge Social sustainability through improved work conditions (less social dumping) Universal design through increased standardisation of the physical road infrastructure
Improved effects on climate and environment	? Can use fewer resources per delivery but could lead to more vehicle km driven Optimal energy savings will depend on seamless logistics requiring changes to surrounding systems Measures for reduced emissions from goods delivery vehicles already having an effect <i>First-time delivery</i> could be more difficult without driver e.g., more wasted delivery trips?
Traffic safety for all road users	? Remove limitations from having humans controlling vehicles e.g., reaction time, fatigue, distraction System effects and limitations of automation technology not fully known Effects of moving from 1 driver per vehicle to several vehicles per operator?
Traffic flow, access, and mobility for all road users	? If automation leads to more vehicles on the road, traffic flow could be worse Uncertainty about how vehicle negotiations in traffic Can increase traffic flows by reducing distance between vehicles or increasing predictability in traffic

The potential advantages that automated vehicles have for achievement of the goals «more bang for the buck» and «effective use of new technology» cannot be taken as granted, and there are potential downsides not included in the table. One example is that automated goods delivery could lead to reduced physical activity among staff and customers, and therefore influence health in society negatively. The analysis is also based on assumptions that introduction of automated vehicles will not demand extensive upgrading and extra maintenance of urban road networks, which would for example affect achievement of “more



bang for the buck” from sustainability measures. Another assumption is sufficient levels of accept of and trust in technology society.

We cannot be sure that automated vehicles will help improve traffic safety for everyone, because this depends not only on the vehicle technology, but on factors like sensor maintenance, data quality and data transfer speed. This implies that it will be important to manage the risks at a system level and assess how the rest of the traffic system will need to be adapted, and how new remote operators or terminal staff will intervene to take over the vehicle in a safe way as needed. A good deal of standardization will be needed in cases where highly automated goods delivery vehicles interact with other road users.

## Future developments

### Constraints in existing systems

There are constraints the systems that automated vehicles will be introduce into, which will affect how automated urban goods delivery will be in the coming years:

- Limitations of vehicle automation technology, limited automation in surrounding systems (loading, unloading, charging, coupling to terminal, access to gated terminal or customer areas) and constraints on remote operations (data speed, standardization, competence), meaning that:
  - Relatively simple use areas must be found for automated vehicles in goods delivery, whose operation is contingent on certain conditions such as time of day, weather conditions.
  - People must be available to intervene and operate the vehicle and to collaborate with people operating systems at nodes in the delivery chain
- Use of automated vehicles in goods delivery to customers will require customers to perform extra tasks or re-organisation of customer premises – whether for B2B or B2C deliveries
- Continued accept for technology requires the development of products and services to accommodate automated vehicles before they are introduced and operated
- Logistic actors using automated vehicles need to re-organise their physical and digital operations and recruit the necessary technological competence.

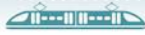
### Realizable use areas

Given these and other limitations, we have identified the most realizable use areas for automated vehicles in goods delivery:

- Delivery of smaller / lighter freight at low speed with pavement robots
- Routine transport of high freight volumes from regional terminal to city distribution center along a simple and preferably dedicated stretch of road
- Other:
  - Following robots to increase the capacity of people who deliver
  - Aerial robots or drones for delivering out of city terminals over sparsely populated areas or water<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Aerial drones have been outside the project scope. After increasing interest and several demonstrations of the possibilities that aerial drones give for goods delivery during the project period, we consider them to be relevant for limited goods delivery in or out from city areas.



## Roles Norwegian Public Roads Authority can play

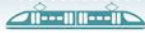
It is important that Norwegian Public Roads Authority (NPRAs) and other public actors influence the development and introduction of automated vehicles for goods delivery in society. This will help avoid new systems developed solely by private actors who do not exclusively prioritize societal goals. NPRAs should consider roles in the following eight areas:

1. Make clear the value for society of using automated vehicles in urban freight delivery.
2. Work with private actors to find out how road networks and pedestrian areas can be modified in simple and cost-effective ways to prepare for implementation of automated vehicles in goods delivery where this is desirable for society. Take a holistic approach to possible modification of the physical road/path network and consider together the needs of all types of automated vehicles for passenger and goods transport.
3. Continue to work with local and county municipalities and private actors on “proximal” physical infrastructure and concepts for goods deliveries (City Hub etc.) that is needed for more widespread use of light electric freight vehicles—and by doing so pave the way for automated vehicles.
4. Assess new ideas about shared infrastructure for freight deliverers, that private actors can use (e.g., “bus stop model”).
5. Work with private actors and mapping agencies on development and exchange of map data that is needed for optimal operations of automated vehicles in goods delivery and other areas. Tackle challenges of data ownership.
6. Approval and certification of operations for remote monitoring and control of automated vehicles.
7. Contribute to developing the regulations concerning vehicle characteristics, classification and permitted use areas. Make clear which types of vehicles can travel where—this has consequences for city users and achievement of logistic actor goals. Regulations on types of goods that can be transported, traffic and road rules and liability also have to be developed.
8. Help develop standards that will improve predictability and road user understanding of the new vehicles. This is needed to maintain or improve traffic safety and universal design, especially when different manufacturers deliver vehicles that are operated in the same area.
9. To learn about the effects of using automated vehicles in goods distribution promote evaluation of the collective effects of goods delivery on critical parameters that influence achievement of NPRAs goals on energy use, emissions, land use and Vision Zero. Exploit the technology developers’ need for NPRAs’ road data as a chance to increase open data sharing by private logistics actors.

## Reflections and knowledge needs

Automated vehicles will take longer to implement for use in freight delivery than for public passenger transport. The latter has more routine and fixed routes that are often less complex. It is therefore easier to adapt the systems to automated vehicles, and the advantages are easier to see.

Both private and public actors see restricted mobility as a challenge for achievement of their main goals. For transporters the challenge is that it is hard to get the goods to where they need to get, not least because their drivers are forced to drive “unnecessarily” long distances at restricted times of the day; for public actors, however, the problem is that utility transport reduces the access that users have to the city. Illegal parking or the use of large vehicles that are poorly suited to the streets they drive on, or to mixed traffic with vulnerable road users,



are some of the problems public actors see. They see that vehicles used to deliver freight cause problems, while private actors perceive that their vehicles and the functions they perform are not accounted for in city developments. Similarly, these two main actor types can perceive differently the potential advantages of automating goods delivery vehicles. While businesses see they can reduce the number of drivers needed and create new roles, public sector actors are interested in how automation can make vehicles more “city friendly” and obedient.

Before we know how urban goods delivery with automated vehicles will develop, logistic actors need to understand what it really means to remove frontline employees from delivering, especially as it concerns customer-facing tasks. New roles for existing and new employees should be identified and developed and competence is needed to operate and maintain new vehicle technology; data systems also need to be developed. Private-public collaboration on how road network capacity can best be used will be important to understand for logistic actors to invest in automation technology. Products and services that fit with automated goods delivery also need to be considered as part of customer acceptance. Logistics systems that exploit the potential that automated vehicles give for seamless freight logistics will be important in the future.

NPRA and other public actors need to understand how different use areas for automated vehicles will help or hinder achievement of their goals. Reflection on possible roles for road owners, like those identified here, will help identify future research needs. Continued testing in ongoing pilots involving road actors, technology developers and municipalities will be an important arena for collaboration. Such pilots should eventually test whole fleets or logistics systems instead of isolated vehicles.



# 1 Innledning

Sisteledsdistribusjon og bylogistikk er et komplekst område med velkjente utfordringer knyttet til forurensning, kostnader, kø, arealbruk, trafiksikkerhet og arbeidsforhold. Varelevering med høyt automatiserte kjøretøy er en spennende utvikling som kan muliggjøre mer effektiv og bærekraftig bylogistikk. Imidlertid er det ukjent hvordan automatiserte kjøretøy vil påvirke de økonomiske, miljømessige og sosiale kostnadene knyttet til varelevering i byområder. Det er også spørsmål knyttet til endringer i regelverket og infrastruktur som trengs for at varelevering med automatiserte kjøretøy skal fungere best mulig. I denne rapporten bruker vi litteraturgjennomgang, intervjuer og feltobservasjoner for å se på hvordan bruk av automatiserte kjøretøy til varelevering kan bidra til oppnåelse av samfunns mål; hvordan de kan påvirke varelevering i by i fremtiden; hva automatiserte kjøretøy vil kreve av tilpasninger i eksisterende systemer; og hvordan Statens vegvesen og andre offentlige aktører bør påvirke utviklingen.

## 1.1 Bakgrunn

Sisteledsdistribusjon er kompleks, krever tid og ressurser, og kan stå for 28 prosent av de økonomiske kostnadene knyttet til varelevering (Ranieri, 2018). I byområder fører varelevering til økt forurensning, økt trafikkmengde, trafikkø, press på areal, flere trafikkulykker og mer støy. Disse kostnadene, kombinert med at varelevering som må forsyne et økende antall innbyggere, betyr at det er behov for å effektivisere varelevering i by.

Effektivisering er vanskelig å få til i praksis, dels fordi varelevering er fragmentert med en lav grad av samordning mellom de ulike transportørene. Dette er forverret av trender som globalisering og netthandel. For å konkurrere må nettbutikker tilby kortere og mer forutsigbar leveringstid og et bredere utvalg av leveringspunkter. Dette har ført til høye kundeforventninger og økt tidspress på sjåførere, noe som igjen har skapt utfordringer for omsetning og rekruttering av sjåførere (Sindi & Woodman, 2020). Offentlige tiltak for et «bilfritt sentrum» har også skapt utfordringer for sjåførene som må levere varer i bysentra.

Samtidig som man ser et voksende behov for effektivisering, er det altså blitt vanskeligere for transportøren å finne og beholde sjåførene. Lønn og personalkostnader for sjåførere er også blant de største kostnadsdrivere for logistikselskapene, og kan stå for opptil 80 prosent av operasjonelle kostnader for et kjøretøy (Bachofner et al. 2022).

Disse utfordringene har ført til utvikling og implementering av innovative løsninger for å effektivisere varelevering i by (Allen et al. 2018; Buldeo Rai et al. 2022; Bachofner et al. 2022). I flere prosjekter ser vi at mindre terminaler nærmere kunden (byhub, mikrohub, pakkeboks osv.) kan tilrettelegge for bruk av lettere kjøretøy for bydistribusjon eller at kundene henter pakker selv. Dette kan redusere økonomiske, miljømessige og sosiale kostnader knyttet til varelevering i by. Bruk av el-motor i varelevering, gjerne i kombinasjon med lettere kjøretøy, har også bidratt til å redusere utslipp.

En annen utvikling som har stort potensial for å effektivisere varelevering i by er bruk av høyt automatiserte kjøretøy som kan effektivisere logistikk, løse utfordringene knyttet til sjåførmangel, og redusere direkte og indirekte kostnader knyttet til sjåføren. En pilotering av «fortausroboter» i UK tydet også på automatiserte kjøretøy kan redusere kostnader knyttet til miljøet og redusere leveringstid med forholdsvis lave investeringskostnader (Logistics City, 2021). Derimot var effektene på trafiksikkerhet mer usikre og det var negative sosiale kostnader.

Samtidig som automatiserte kjøretøy kan bidra til å løse mangel på sjåførere, er det også en risiko at de kan ta jobber fra sjåførere hvis det introduseres mange nok, et inntrykk som kan føre til motstand blant sjåførere (Othman 2022).

På grunn av fremgang iblant annet sensorteknologi og maskinlæring, er ulike typer av høyt automatiserte kjøretøy for bruk i varelevering nå tilgjengelig på markedet. Logistikkelskap viser økende interesse for slike kjøretøy som et viktig ledd i sømløs og effektiv varelevering, noe som etter hvert kan gi en stor konkurransefordel. I lyset av utfordringene vi har presentert (spesielt sjåførmangelen og økende kostnader knyttet til sjåføren), er sjansen stor for en bratt økning i interesse for bruk av høyt automatiserte kjøretøy i varelevering i by. Dermed er det et pressende behov for å forstå driftsutfordringer som kan oppstå i praksis, og hvilke systemendringer som trengs for å få til en autonom varelevering som er gunstig for samfunnet (Lim et al., 2018).

Selv om man kan lære av pilottester på automatiserte kjøretøy for passasjertransport, foregår varelevering i en mer sammensatt og uoversiktlig kontekst som det må tas høyde for. Man må også forstå hvordan innføring av automatiserte kjøretøy for varelevering kan spille sammen med andre viktige innovasjoner innen varelevering slik som ITS og harmonisering og analyse av data med kunstig intelligens. En slik forståelse vil gjøre byene i bedre stand til å styre implementering av nye kjøretøy slik at de bidrar til et mer bærekraftig samfunn, uten at det går på bekostning av logistikkaktørens interesser<sup>3</sup>.

For Statens vegvesen er det viktig å ta i bruk teknologi som kan hjelpe til å møte behovene til folk flest. De bruker Nasjonal transportplan og de store politiske linjene som er ledesnoren for hva som er god bylogistikk og varelevering. Et viktig spørsmål for Statens vegvesen er *hvorfor automatisere?* Statens vegvesens engasjement med automatiserte kjøretøy for varelevering må også støtte opp under nasjonale målsettinger for veitransporten og det offentliges innsats på området må sees i et helhetlig samfunnsnytteperspektiv (Vianova, 2022). Automatiserte tiltak må sees i sammenheng med andre mekanismer i trafikk- og mobilitetsbildet, og andre effektiviseringsmuligheter.

I Norge har det hittil vært mest fokus på automatiserte kjøretøy for passasjerer, og det er gjort flere piloter med selvkjørende busser i Norge i Bodø, Gjesdal, Oslo, Stavanger og Kongsberg. Automatisert varelevering i byer har ikke blitt testet i samme grad, men det har vært enkelte piloter, som Postens test av en autonom pakkerobot i 2020 (Ludt, 2020).

Det gjenstår mange ubesvarte spørsmål om bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering i Norge, ikke minst om hvordan samfunnet oppleve automatiserte godskjøretøy, og hvordan det vil påvirke offentlige mål knyttet til sosial, økonomisk og miljømessig bærekraft og arealbruk.

For Statens vegvesen er det viktig å vite om teknologien blir en hemmer eller en fremmer for god varelevering i by som er i tråd med Statens vegvesens toppmål. Spørsmål knyttet til sine eventuelle roller i regulering, standardisering, utvikling av infrastruktur, trafiksikkerhet og fremkommelighet er også sentrale.

## 1.2 Postens autonome fortausrobot

For å høste erfaringer om bruk av autonome kjøretøy i vareleveringen og forberede dets inntog, gjennomførte Posten Bring med flere en test av autonom varelevering på Aker Brygge i Oslo. Testen ble gjennomført i perioden 14. november til 15. desember 2022 og ble fulgte av TØI-forskere for å notere læringspunkter knyttet til mennesker, miljø og samfunn.

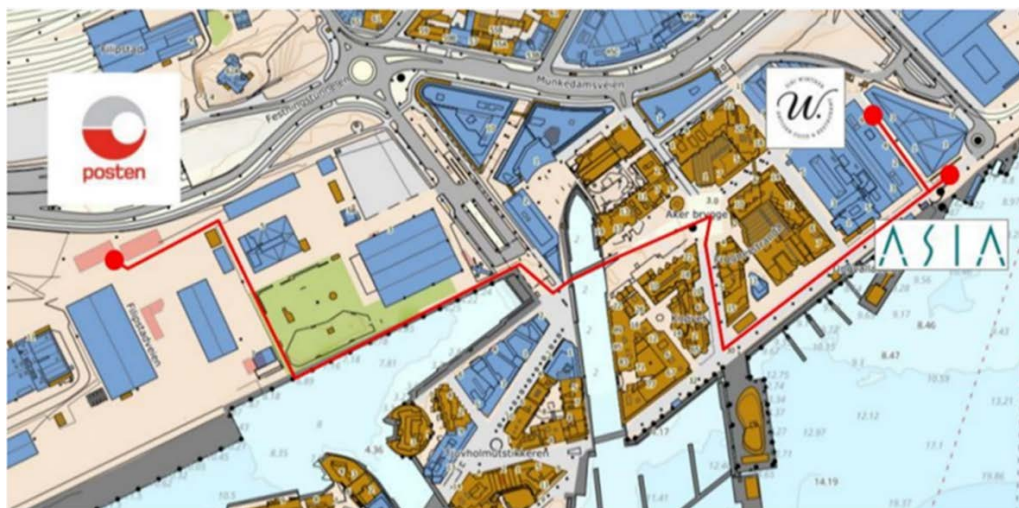
Via plattformen Amoi leverer Bring Courier & Express (BCE) varer direkte til konsument fra (blant annet) Winther og Asia restauranter på Aker Brygge. BCE bruker som regel varebiler til denne

---

<sup>3</sup> For logistikkaktørene er sisteledsdistribusjon den dyreste delen av logistikkjeden, og strengere regulering av trafikk gjennom tiltak som bompenger, nulltullslippsoner og gateregulering kan gjøre det enda dyrere.

transporten. I en testperiode skulle disse varebilene erstattes med vareleveringsroboter på den delen av transporten som foregår på Aker Brygge.

Testen gikk ut på at robotene, etter en uke med innkjøring og opptrening, skulle kjøre alene fra Postens mikroterminal på Oslo City Hub på Filipstad til restaurantene Winther og Asia, bli fylt med varer som var bestilt via Amoi for så å kjøre tilbake til mikroterminalen for omlast til en varebil fra BCE, og videre distribusjon til konsument. Se kart og rute i figur 1.1. Operasjonen ble til enhver tid overvåket og kontrollert av Holo, som via en operatør i København fulgte med at roboten overholdt sine leveringsforpliktelser og opererte i henhold til gitt kjøretillatelse.



Figur 1.1: Rute for Postens test av autonom varelevering på Aker Brygge i november-desember 2022; andre bilder viser roboten under testing.

Roboten kjørte på ukedager i henhold til tre tidsluker: en med opphenting rundt klokken 10, en med opphenting rundt klokken 12 og en med opphenting rundt klokken 14. Om det ble gjennomført en opphenting eller ikke var i stor grad avhengig av at det var varer som skulle hentes. Som regel ble det gjennomført 1 til 2 opphentinger fra Winther og/eller Asia per dag. Cirka halvveis i testperioden endret Amoi denne modellen og gikk fra tre opphentingsvindu per dag til et stort opphentingsvindu og direkteleveranser morgen og ettermiddag. Dette hadde liten praktisk betydning for antall hentinger med robot, som fortsatte med rundt 1-2 hentinger per dag.

## 1.3 Formål

Prosjektet tar sikte på å svare på tre hovedspørsmål;

- Hvordan kan bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering i by påvirke oppnåelse av Statens vegvesens toppmål og viktige økonomiske og sosiale eksternaliteter<sup>4</sup>?
- Hvordan kan varelevering med automatiserte kjøretøy i byområder se ut i fremtiden?
- Hvilke roller bør Statens vegvesen ha for å styre varelevering i tråd med viktige samfunns-mål?

## 1.4 Omfang og begrepsbruk

Vi har satt søkelys på kjøretøy med teknologi for automatisert kjøring på SAE nivå 4 (jf. 4.1.1 Automatiseringsnivåer). Kjøretøyene kan være mindre roboter som kjører på fortau eller varebiler som kjører på vei, og kan bli brukt til *business-to-business* (B2B) eller *business-to-consumer* (B2C) leveringer i by. Vårt fokus er på større norske byer hvor bylogistikk er en utfordring.

---

<sup>4</sup> Eksternalitet: betegnelse på samfunnsøkonomiske gevinster eller kostnader som autonom varelevering kan medføre. Eksempler på negative eksterne effekter er høyere kostnader knyttet til drift av ITS/infrastruktur og helseeffektene som kommer av at kunden ikke lenger går/sykler til butikken for å hente varer. Positive utilsiktede effekter kan være redusert støy i byområder eller redusert behov for areal for parkering.

## 2 Metode

### 2.1 Forskningsspørsmål og aktiviteter

For å svare på hovedspørsmålene (jf. 1.3) brukte vi en systematisk tilnærming der forskningsaktivitetene svarer på fire forskningsspørsmål og tilsvarende delspørsmål, som tabell 2.1 viser.

Tabell 2.1: Forskningsspørsmål og forskningsaktivitetene som svarer på dem.

Forskningsspørsmål (FS)	Delspørsmål	Aktivitet som genererer relevant kunnskap
FS1	Hvilke funksjonelle utfordringer gir varelevering i by i dag? Hvilke funksjoner <sup>5</sup> er vesentlige for ulike typer av varelevering i by i dag (B2B og B2C)? Hvordan gjennomføres disse funksjonene i dag? Hvilke utfordringer gir dette for oppnåelse av Statens vegvesens toppmål og andre viktige samfunns mål?	Eksisterende kunnskap, dokumentgjennomgang Intervjuer med bransjerepresentanter (jf. 2.2.3)
FS2	Hvordan kan automatisert varelevering bidra til å løse utfordringene? Hvilke funksjoner er det sannsynlig at autonom varelevering kan ivareta? Hvordan vil ivaretagelse av disse funksjonene påvirke Statens vegvesens toppmål og andre miljømessige, økonomiske og sosiale eksternaliteter (positive og negative)?	Litteraturgjennomgang (jf. 2.2.1) Intervjuer med de som jobber i varelevering og fageksperter (jf. 2.2.3) Observasjoner av pilot med en fortausrobot for varelevering (jf. 1.2.)
FS3	Hvordan kan varelevering med automatisert kjøretøy i by se ut i fremtiden? Hvordan kan autonom varelevering endre servicenivå? Hvordan kan autonom varelevering endre rollefordeling og driftsmodeller i distribusjon? Hvordan kan autonom varelevering ellers påvirke organisering av last mile logistikk, f.eks. lokalisering av distribusjons-sentre og mikrohub («proximity points»), samarbeid, bruk av ruteoptimalisering og vei/sti-infrastruktur? Hvordan vil autonom varelevering passe inn som del av ITS og smarte byer? Hva kan skje hvis ikke vi tar hensyn til behov for andre systemendringer? Blir det fremkommelighetsproblemer på fortau, arealkonflikter, hindring for busspassasjer, helseutfordringer osv.?	Intervjuer med de som jobber i varelevering og fageksperter (jf. 2.2.3.1 og 2.2.3.3) Kognitive intervjuer med sjåfører (jf. 2.2.3.4) Observasjoner av pilot med en fortausrobot for varelevering (jf. 2.2.3.2) Intervjuer med representanter fra Posten om strategi (jf. 2.2.3.2) Deltakelse på seminarer (jf. 2.2.2)
FS4	Hvilke data og informasjon trengs for å få bedre kunnskap om hvordan automatisert varelevering i Oslo og andre norske byer blir i fremtiden? Hvilken kunnskap mangler vi for å få svar på spørsmålene over?	Observasjoner av pilot med en fortausrobot for varelevering (jf. 2.2.3.2) Intervjuer med fageksperter og representanter fra Posten om strategi (jf. 2.2.3.3, 2.2.3.2) Deltakelse på seminarer (jf. 2.2.2)

### 2.2 Datakilder

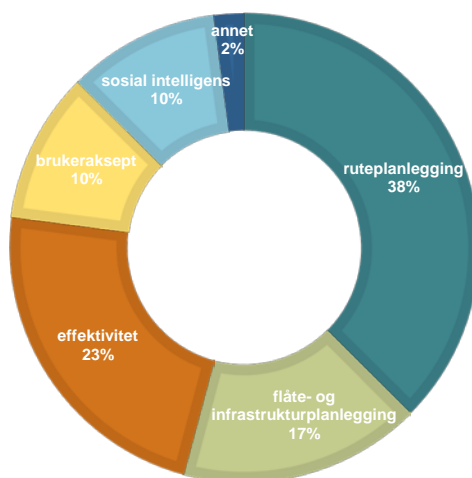
Her beskriver vi datakilder som vi brukte for i våre analyser for å forstå offentlige aktørers perspektiver på varelevering i by i dag, og for å forstå muligheter og utfordringer for bruk automatiserte kjøretøy i varelevering i by i fremtiden.

<sup>5</sup> Begrepet «funksjoner» forklares i Metoden 2.1

## 2.2.1 Litteraturgjennomgang

Vi gjennomførte en litteraturgjennomgang for å forstå de siste utviklingene i bruk av automatiserte kjøretøy for varelevering. Srinivas et al. (2022) gir en god oversikt over publisert litteratur om automatiserte kjøretøy frem til februar 2022. Vi tok derfor utgangspunkt i Srinivas et al. (2022) og supplerte med forskningsartikler publisert fra mars til november 2022. Vi så også etter dokumenter som omtaler de seneste utviklingene i feltet og erfaringer fra en norsk kontekst.

For å finne nye forskningsartikler la vi i databasen Scopus inn de samme søkeordene som Srinivas et al. (2022) brukte: «delivery robots», «parcel robots», «autonomous delivery vehicles» og «unmanned vehicle deliveries». Vi identifiserte 72 ekstra artikler. Sammendragene ble lest for å vurdere relevans og 37 ble utelukket<sup>6</sup>. De gjenværende 35 artiklene diskuterte nye utviklinger i feltet og ble fordelt i de fem kategoriene nevnt av Srinivas et al. (2022) (figur 2.1).



Figur 2.1: Fordeling av 35 artikler om automatiserte kjøretøy for varelevering publisert fra mars til november 2022—etter strukturen forslått av Srinivas et al. (2022)

I tråd med Srinivas et al. (2022), har artiklene fortsatt fokus på ruteplanlegging. Ruteplanlegging og effektivitet blir ofte diskutert sammen for å vurdere potensialet som nye strategier og ruteplanleggingsalgoritmer har for å effektivisere logistikken.

## 2.2.2 Seminardeltakelse

For å lære om forutsetninger for effektiv og sikker varelevering i by deltok vi den 22. september 2022 på et seminar hvor resultatene fra prosjektet GLAD (*godsleverans under den sista milen med självkörande fordon*) ble presentert. GLAD gikk fra 2020 til 2022 og ble gjennomført av RISE (*Research Institutes of Sweden*) og delfinansiert av Transportverket i Sverige.

For å lære om status for arbeidet med internasjonale standarder for fortausroboter, deltok vi på et åpent seminar om *Public Mobile Robots* holdt av Ben Grush, Executive Director, Urban Robotics Foundation (Canada) den 15. desember 2022.

I begge tilfeller tok vi detaljerte notater som vi har brukt i våre analyser.

<sup>6</sup> Disse handlet om andre aspekter enn varelevering- for eksempel tjenesteroboter brukt på sykehus, på lager eller hoteller.

## 2.2.3 Intervjuer og observasjoner

Her ble fire typer forskningsaktiviteter gjennomført i perioden mellom 23. november 2022 og 8. mars 2023.

### 2.2.3.1 Intervjuer med representanter for bransjeaktører

Sju intervjuer (50-90 minutter) ble gjennomført med private og offentlige bransjeaktører for å konsolidere og supplere funn fra litteraturgjennomgangen, og for å fange opp viktige endringer som autonome kjøretøy for varelevering vil medføre og kreve. Intervjuspørsmålene ble også stilt for å få svar på forskningsspørsmål 1, 2 og 3 (jf. tabell 2.1, Vedlegg 3).

Følgende representanter deltok;

- Driftsleder for en nasjonal aktør som utfører post- og frakttjenester i norske byer.
- Bærekraftsansvarlig for landtransport i Norge hos en stor privat logistikkaktør. Har tidligere jobbet som kjøreleder, prosjektleder for ny distribusjonssenter og distribusjonsansvarlig på en stor terminal.
- Supply chain director med ansvar for den fysiske vareflyten i en bedrift som leverer tjenester og forsyninger til helsepersonell over hele Europa.
- Prosjektleder hos en kommune for ulike prosjekter om bærekraftig varetransport og et interkommunalt bylogistikkprosjekt.
- Seniorrådgiver som har jobbet med mobilitet, autonome kjøretøy og varelogistikk i by i en stor fylkeskommune.
- Flere representanter fra Statens vegvesen deltok i to intervjuer
  - Leder for FoU-programmet Bylogistikk
  - Trafikkingeniør med erfaring fra fagforberedelse for automatiserte transporter innen kollektivtransport og varelevering
  - Trafikkpsykolog på Avdeling for vegtransport som behandler søknader for utprøving av selvkjørende kjøretøy
  - Leder og medlem av prosjektet Bærekraftig urban transport og mikromobilitet.

### 2.2.3.2 Intervjuer og observasjoner i forbindelse med testing av Postens autonome fortausrobot

Forskere fra TØI observerte Postens autonome fortausrobot (jf. 1.2) i drift på fire dager mellom perioden 17. november til 8. desember 2022. Robotens «oppførsel» under kjøring ble notert med særlig fokus på avvik og interaksjon med mennesker. Kortere intervjuer ble gjennomført med 25 fotgjengere og syklister som opplevde samspill med fortausroboten i trafikken.

For å konkretisere svarene på forskningsspørsmål 2 og 3 (jf. tabell 2.1), gjennomførte vi også intervjuer med representanter for organisasjonene som deltok i Postens pilotstudie med fortausroboten. Disse var:

- Varesendere (2 representanter)
- Sjåfør (varemottaker) og kjøreleder for logistikkaktøren (2 representanter)
- Leverandøren av det automatiserte kjøretøyet (2 representanter)
- Operatøren av det automatiserte kjøretøyet (2 representanter)

Spørsmålene som ble stilt til bransjeaktørene (2.2.3.1) ble tilpasset for å fange opp, på en mer konkret måte, mål, oppgaver og utfordringer som deltakerne opplevde i praksis i pilotstudien.

I et separat intervju ble representanter for ledelsen i Posten stilt spørsmål om hvordan de mente automatiserte kjøretøy for varelevering vil påvirke varelevering i fremtiden. Dette bidro til å få svar på forskningsspørsmål 3 og 4.

Pilotstudien testet levering med fortausrobot i perioden fra oktober til desember 2022 (jf. 1.2).

### 2.2.3.3 Fokusgruppeintervju med internasjonale fagekspert

Seks personer deltok i et 3-timers fokusgruppeintervju, hvor hensikten var å få svar på forsknings-spørsmål 2, 3 og 4, og utforske muligheter, betingelser og utfordringer for høyt automatisert varelevering i by (spørsmålene som ble brukt oppgis i Vedlegg 5.) Følgende representanter deltok;

- Harry Lahrman (Associate professor v/Aalborg universitet) – ekspert på transportsystemer og trafiksikkerhet.
- Magnus Berglund (Research Director, VTI) – leder forskningsgruppe på transportanalyse og logistikk, deltar i EU-prosjektet SHOW på autonome kjøretøy.
- Niklas Arvidsson (forsker, VTI) – kunnskap, erfaring og interesse for bærekraftig sisteleddsdistribusjon, bylogistikk, el-kjøretøy og driftsmodeller.
- Helleke Heikkinen (Researcher, Hanken School of Economics) – forsker på bærekraftig sisteleddsdistribusjon med bakgrunn i teknologi.
- Gergely Horvath (cofounder, product lead LMAD, last mile autonomous deliveries, fransk bedrift basert i Espoo, Finland) – styrer og drifter en plattform som tilrettelegger for bruk av leveringsroboter med fokus på sisteledd. Erfaring fra samarbeid med europeiske produsenter.
- Olav Madland (gründer, CEO Applied autonomy) – redigerte rapporten «Autonom varelevering – forstudie for Statens vegvesen 2022». Har arbeidet på prosjekter om autonom kjøring, og sett på bruk av flåtestyringssystemer i automatisert varelevering med fokus på B2B levering.

### 2.2.3.4 Kognitive intervjuer med personer som leverer med lette elektriske kjøretøy

I et kognitivt intervju blir spørsmålene stilt for å forstå generelle funksjoner i varelevering og hvilke av disse funksjonene som krever mer kompleks tenkning eller avgjørelser. Det er en effektiv måte å kartlegge alle oppgaver utført av sjåførere i varelevering, inkludert de som kan være vanskelig for autonome kjøretøy å utføre. I 2022 gjennomførte vi tre kognitive intervjuer—to med lastesyklister som leverte pakker for det samme firmaet i Oslo sentrum og en med en Paxster-sjåfør som jobbet for et annet firma og leverte varer om natta. Gjennomføring av intervjuene ble finansiert av TØIs interne midler og prosjektet iSmile finansiert av Nordic Innovation. Midler fra AUTOBY ble brukt å analysere notatene fra alle tre intervjuene. Hensikten var å få supplerende informasjon som kunne brukes til å svare på forskningsspørsmål 3 (jf. tabell 1).

## 2.3 Systemanalyse

Varelevering i by er et komplekst system som består av mange sosiale og teknologiske komponenter i samspill (for eksempel kjøretøy, infrastruktur, mennesker, bedrifter og kommuner). For å forstå hvordan automatiserte kjøretøy kan inngå i dette systemet er det behov for å forstå hvordan kjøretøyene vil påvirke og påvirkes av disse komponentene. Til dette har vi brukt en metode som heter *Work domain analysis* (Naikar, 2013) som vi vil kalle for **systemanalyse**. Metoden ser på kjøretøy som en av mange **komponenter** som trengs for å gjennomføre **funksjoner** som oppnår **mål** i et system for varelevering.

Systemanalyse begynner med å definere mål (i dette tilfelle var det logistikkaktørens mål for varelevering i by som var av interesse). Etter identifisering av mål, identifiserer man konkrete komponenter som blir nevnt ofte og i ulike sammenhenger i varelevering. Eksempler på konkrete komponenter er kjøretøy, mobiltelefon eller distribsjonssenter. Når hovedkomponentene i systemet er identifisert kan man begynne å identifisere for hver komponent hvordan denne brukes, og hva den brukes til. Dette er et hjelpemiddel for å identifisere systemets funksjoner. Når en har oversikt over



komponenter og funksjoner, blir dette et hjelpemiddel for å utvikle helhetlig policy og teknologi for bedre måloppnåelse.

I systemanalyse er en **funksjon** en abstrakt tilordning som er vesentlig eller nyttig for oppnåelse av systemets mål. Noen eksempler på funksjoner for varelevering er bestilling, transport, konsolidering av varer, rutevalg og lastning. I motsetning til funksjoner er **komponenter** konkrete objekter. Komponenter er altså ikke funksjoner, men de *gir* funksjoner som er vesentlige for varelevering.

I tillegg kan man i systemanalyse identifisere parametere som funksjonene påvirker og som kan måles for å spore måloppnåelse. For eksempel er støynivået av et godskjøretøy en av flere parametere som påvirker vareleveringens miljømessige bærekraft.

En systemanalyse er nyttig for det kan brukes til å forstå kommentarer fra intervjuer. Forskning viser at en systemanalyse synliggjør aspekter som mennesker ofte tenker på når de tar viktige avgjørelser eller prøver å identifisere løsninger for vanskelige utfordringer i komplekse systemer (Naikar, 2013). Det vil si at man ofte tenke på det som gjøres i systemet (funksjoner) og hva det er som gjør det (komponenter) når man prøver å oppnå sine mål. I dette prosjektet brukte vi systemanalyse for å strukturere vår forståelse om utfordringer i dagens system, hvilke nye funksjoner automatiserte kjøretøy kan by på som en ny komponent i systemet, og hvilke muligheter og utfordringer disse kjøretøyene ville gi for logistikkaktørenes måloppnåelse.

Systemanalyse tar høyde for at effekten av komponenter på måloppnåelse også vil være avhengig av samspillet mellom ulike komponenter og hvordan de er organisert. For eksempel, bruk av et kjøretøy vil avhenge av veinettverket eller kommunikasjonsteknologien som brukes og hvordan utsendelser er organisert. Forståelse av disse såkalte systemiske effekter krever forståelse av forholdene mellom komponenter, funksjoner og mål i et definert system.

Forstår vi hvilke funksjoner *automatiserte* kjøretøy kan gi for varelevering, kan resultatene fra systemanalysen brukes til å vurdere hvordan varelevering vil påvirkes i fremtiden. Det vil si at vi vil få svar på spørsmålene i tabell 2.1. Datakildene som vi brukte for systemanalysen (de som vi brukte for å generere kunnskap om sentrale mål, funksjoner og komponenter i varelevering i by i dag og i fremtiden) vises i tabell 2.1.

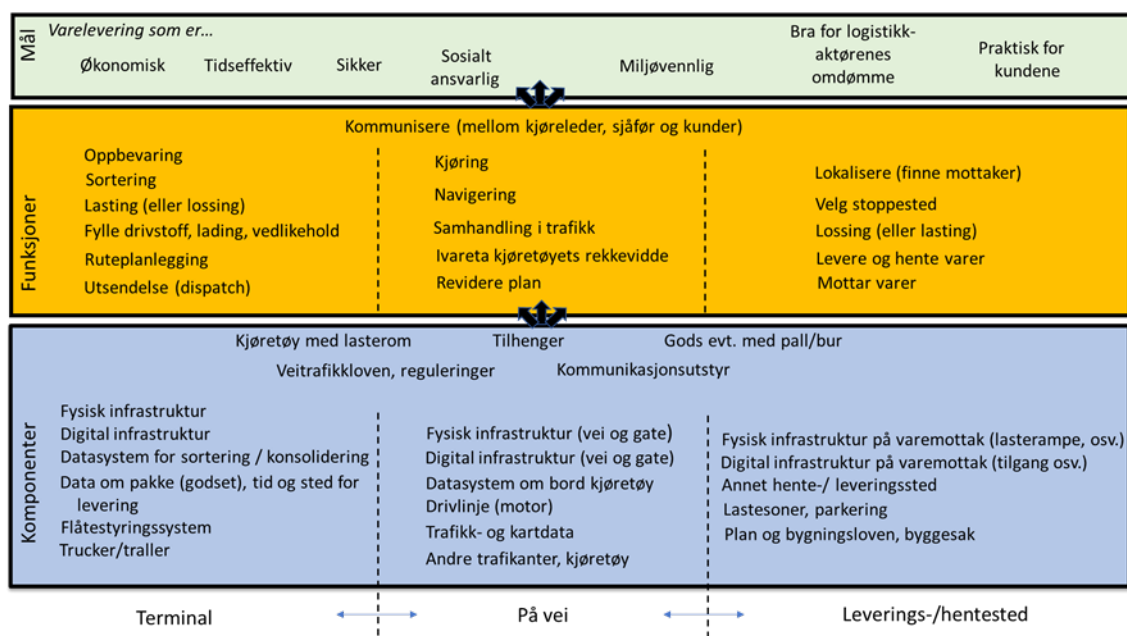
I systemanalysen har vi analysert *systemet som logistikkaktører bruker for varelevering i by*.

### 3 Varelevering i by i dag

Via intervjuer med bransjerepresentanter (jf. 2.2.3.1) og med kunnskap om TØIs andre prosjekter og eksisterende rapporter (for eksempel Caspersen et al., 2023; Ørving et al., 2022; Ørving og Weir, 2022) har vi kartlagt mål, funksjoner og komponenter som er sentrale for varelevering i by. En slik kartlegging bidro til å forstå i) utfordringer for gjennomføring av varelevering i by i tråd med oppnåelse av logistikkaktørens og/eller Statens vegvesens mål, og ii) hvorvidt autonome kjøretøy kan bidra til å løse utfordringene. Del i) beskrives i dette kapitlet og del ii) blir temaet for neste kapittel. Resultatet av systemanalysen gjengis i sin helhet i Vedlegg 6 og oppsummeres i dette kapitlet.

#### 3.1 Hvilke mål har logistikkaktører for varelevering i by og hvordan gjør de det?

Figur 3.1 oppsummerer resultatene av en systemanalyse av varelevering i by, hvor varene transporteres fra distribusjonssenter eller terminal til kunde.



Figur 3.1: Systemkomponenter og funksjoner som påvirker oppnåelse av logistikkaktørers mål for varelevering i by.

I figuren kan i) hver komponent bidra til gjennomføring av en eller flere funksjoner og ii) hver funksjon påvirke oppnåelse av et eller flere mål. Komponenter kan påvirke hverandre, funksjoner kan påvirke hverandre og mål kan påvirke hverandre. Merk at funksjoner og komponenter som er viktige i varelevering er grovsortert fra venstre til høyre på figuren, etter distribusjon fra terminal til varemottak.

**Mål.** Toppen av figur 3.1 viser at logistikkaktører (avsendere, transportører, logistikkelskap osv.) prøver å oppnå varelevering som er kostnads- og tidseffektivt, sikker, miljøvennlig, sosialt ansvarlig, bra for sitt omdømme og praktisk for sine kunder. Logistikkaktørene har noe mer fokus på ansattes arbeidsforhold enn offentlige aktører har når de snakker om sosialt ansvar, men noen logistikkaktører deler også noe av bykommunenes syn på at sosialt ansvarlig logistikk innebærer at «ingen tenker på den»: Når varene ankommer som bestilt og planlagt uten at godskjøretøyene må kutte svinger og bryte regler for å nå kunden eller er til hinder for andre trafikanter.

**Funksjoner.** I hvilken grad logistikkaktørens mål er oppnådd er et resultat av flere funksjoner i samspill. Funksjonene kan påvirke både måloppnåelse og hverandre. For eksempel hvordan pakker sorteres (en funksjon) kan påvirke ruteplanlegging (en funksjon) og tidseffektivitet (et mål). På lignende vis påvirker både ruteplanlegging og navigering kjøringen, og alle tre funksjoner påvirker trafiksikkerhet. Ettersom funksjoner i ulike kombinasjoner påvirker de ulike målene, kan det være vanskelig å vite hvordan funksjoner skal organiseres for optimal oppnåelse av prioriterte mål. Dette vises tydeligere i en mer omfattende kartlegging av systemet for varelevering i Vedlegg 6 (som figur 3.1 oppsummerer).

**Komponenter.** Funksjonene som figur 3.1 viser gjennomføres ved bruk av komponenter som utgjør det konkrete systemet for varelevering. Terminaler og distribusjonssentre i by er blitt en viktig del av varelevering, og både beliggenhet og ressurser som terminalen gjør tilgjengelige (for eksempel drivstoff, strøm) kan avgjøre om lettere kjøretøy med begrenset rekkevidde kan brukes for varelevering i by. Den fysiske og lovmessige tilgjengeligheten av ulike deler av vei- og gatenettverket må også tas hensyn til når man velger kjøretøy for varelevering. Noen av disse komponentene kan velges og organiseres av logistikkaktørene mens andre ikke kan. Sammen påvirker de utvalgte komponentene hvordan funksjonene er gjennomført og dermed hvordan målene er oppnådd. Menneskene i systemet som bruker komponenter for å gjennomføre funksjoner er utelatt i figur 3.1.

Figur 3.1 viser at varelevering består av komplekse handlinger som er avhengige av langt flere systemfunksjoner enn kun varehåndtering og kjøring<sup>7</sup>. Selve funksjonene er avhengige av komponenter som er valgt ut av de som er tilgjengelige. Hvilke ressurser som trengs for å gjennomføre en funksjon er avhengig av både i) målprioritering og ii) systemet aktiviteten skal gjennomføres i. Siden automatiserte kjøretøy er en type ressurs, vil dette gjelde også for dem.

## 3.2 Sentrale funksjoner og målparametere

### 3.2.1 Sentrale funksjoner: Organisering av utsendelser (*dispatch*) og kjøring

Vår systemanalyse viser at to funksjoner har en sentral påvirkning på måloppnåelse (Vedlegg 6):

**Organisering av utsendelser<sup>8</sup> (*dispatch*)** av kjøretøy for varelevering er avhengig av tidsperioden og -stedet som vareleveringen er bestilt for, antall og type av varer som må samlastes, og hvilke kjøretøy som finnes i flåten og som er tilgjengelige. Hvordan utsendelser organiseres er viktig for det påvirker tidspunktet (og eventuelt dagen og uken) for varelevering, antall varer og kjøretøy som utsendes, typer av kjøretøy som brukes, gatene og veiene kjøretøyene sendes til (rutevalg), vekten av varer som leveres og tettheten mellom adresser for varelevering/-henting.

**Kjøring og navigering** av kjøretøyet som er sendt ut er også sentralt, og er med på å bestemme kjørehastighet, tid brukt på varelevering, avstand til andre kjøretøy og trafikanter, kjøretøyets plassering i kjørebane (arealbruk), energibruk, utslipp, støy og forutsigbarhet for andre trafikanter. Kjøring påvirker også andre funksjoner som lokalisering av mottakssted, valg av stoppested, lossing, overføring til/fra kunden og oppdagelse av forsinkelser og farer i trafikken.

<sup>7</sup> Merk at dette gjelder for et relativt enkelt system, hvor varene leveres fra terminal til kunde. En analyse av funksjoner for varelevering fra terminal til hub til kunde vises i Vedlegg 7.

<sup>8</sup> For utsendelse eller disponering må operasjoner og varelevering koordineres med tilgjengelige sjåfører og kjøretøyer. Det kan også innebære rutevalg og sporing av varer og kjøretøy med eller uten flåtestyringssystem.

### 3.2.2 Kritiske målparametere

Som del av systemanalysen har vi identifisert parametere som kan måle hvordan systemfunksjoner påvirke måloppnåelse (jf. Vedlegg 6). Disse målparameterne, enten alene eller i kombinasjon, kan brukes for å sammenligne ulike systemer for varelevering. For varelevering i by identifiserte vi følgende målparametere;

- Antall, form, størrelse og vekt av varer som leveres (påvirkes av for eksempel kapasitet i flåten og ruteplanlegging; påvirker hvor effektiv varelevering er økonomisk sett)
- Form og størrelse av gater/veier og antall og størrelse av andre kjøretøyer og trafikanter på veiene (for eksempel påvirkes av ruteplanlegging av dette, som igjen påvirkes av regulering; i tillegg påvirker dette trafiksikkerhet eller omdømme)
- Form og størrelse på kjøretøyet brukt til varelevering og form og størrelse på kjøretøyets lasterom (påvirkes av typer av kjøretøy i flåten og valg av kjøretøy etter ruten som må kjøres, som igjen påvirkes av regelverket)
- Brutto vekt av kjøretøy (påvirker trafiksikkerhet, utslipp og energibruk)
- Type motor og energikilde som kjøretøyet bruker (påvirker utslipp og energibruk)
- Avstand til eller mellom steder for levering og henting (påvirker effektivitet)
- Tid på dag, uke, sesong (kan påvirke hvor synlig varelevering er, trafiksikkerhet)
- Tid brukt på lastning, kjøring, lossing, overføring, ventetid (påvirker effektivitet, kundetilfredshet og arealbruk per timer)
- Kjørehastighet (påvirker trafiksikkerhet og tidseffektivitet)
- Støy (påvirker transportørens omdømme, miljøvennlig varelevering)
- Kjøretøyets retning, bane, rute, plassering (påvirker trafiksikkerhet, omdømme, arealbruk, om levering anses som kundevennlig)
- Forutsigbarhet for kunder, for andre trafikanter

Kombinasjoner av disse målparameterne kan være spesielt viktig å ta hensyn til, for eksempel tidsbruk, arealbruk, utslipp eller energibruk per leveranse.

Målparameterne tilsier at «rett kjøretøy» bestemmes delvis av hva som skal leveres. Rett bruk av kjøretøy innebærer at de utnyttes med høy fyllingsgrad og på egnede og effektive ruter. Det innebærer også at kundene er lett tilgjengelige for varelevering innenfor gjeldende infrastruktur og regler. Det er ønskelig med systemer som tilrettelegger for at dette kan gjelde både til og fra mottaker, det vil si at kjøretøy som leverer også tar med seg returvarer.

### 3.3 Utfordringer for oppnåelse av logistikkaktørens mål

For å avdekke og tydeliggjøre utfordringene som private og offentlige aktører ser for varelevering i by, har vi gjennomført intervjuer med aktuelle representanter. Her presenterer vi utfordringer for gjennomføring av funksjoner for oppnåelse av logistikkaktørens mål. I del 3.4 presenterer vi utfordringer varelevering i by gir for Statens vegvesens toppmål.

Den utfordringen som blir trukket frem av flest - både offentlige og private aktører - som den største utfordringen for oppnåelse av logistikkaktørens mål for varelevering, er **fremkommelighet**. For logistikkaktøren påvirker fremkommelighet kjøreoppgaven (en sentral funksjon, jf. del 3.2.1) og dermed tid brukt på kjøring (et kritisk målparameter, jf. 3.2.2) og dermed tidseffektivitet (et mål). Bransjeaktører understreker også at det som kan forstyrre vareleveranser i byer - i tillegg til trafikkflyten - er **tilgang til varemottak eller hentested** i form av parkering, laste- og lossesoner, vareleveringsområder, bedrifter og virksomheter. Valg av stoppested kan være en utfordrende funksjon å gjennomføre. Behov for å parkere langt fra et varemottak og/eller ulovlig kan skape stress for sjåføren, øke tidsbruk per leveranse, gi en levering som er lite praktisk for kunden og påvirke transport-selskapets omdømme.

**Forutsigbarhet** kan være en utfordring for en virksomhet som opererer i et komplekst og dynamisk bybilde. Manglende forutsigbarhet tvinger frem hurtige avgjørelser om bruk av reservekapasitet i rutene: Transportørene planlegger ut ifra lavest antall kjøretøy som trengs for å utføre leveransene før de legger til ekstra ressurser for å imøtekomme et uforutsigbart bybilde. Lav forutsigbarhet kan redusere tidseffektivitet og det betyr at sjåførene (eller kjørelederen) må planlegge ruter om, finne snarveier, parkere langt fra varemottaket eller avtale et nytt leveringssted med kunden.

Dårlig tilgjengelighet kombinert med **kundekrav** er utfordrende for vareleveringen. Kundekrav varierer, men det er ikke uvanlig at tidspunkt for henting og levering fra samme kunde er bestilt til ulike deler av dagen. Dette påvirker fleksibilitet og rutene. I noen områder medfører kundekrav og kompliserte kjøremønstre at en må kjøre unødvendig langt og kronglete. Summen er at det blir vanskelig å oppfylle krav til miljø, trafikkreduksjon, osv. Problematisk kundekrav er knyttet til høyere forventninger om service og valg av hentested, noe som er et resultat av økende salg i netthandel (Allen et al., 2018; Buldeo Rai et al., 2022; Bachofner et al., 2022).

**Samlasting på tvers av aktører** er også en utfordring, særlig for offentlige aktører som jobber med bylogistikk. Hver for seg er (de store) aktørene antagelig effektive, men de er i liten grad koordinert med andre transportører. Dette, sammen med kundekrav og reguleringer, legger begrensninger på når og hvor de kan levere, noe som igjen resulterer i at flere transportører er på samme sted til samme tid og det blir pressperioder og kaos inne i byene.

Det påpekes i flere av intervjuene at det florerer holdninger om at fremkommelighetsproblemer og plassmangel er noe «**sjåførene må løse**» for å beskytte oppnåelse av målene i figur 3.1. I dette ligger det at vi tillater rigide systemer fordi sjåførene er fleksible, og videre at sjåførene er en nøkkelressurs for effektiv og smidig varelevering. Uforutsette hindringer og vanskelige kjøreforhold som følge av veiarbeid, endret kjøreretning og enveiskjorte gater gjør det vanskelig for utenfrakommende sjåfører å gjennomføre vellykket varelevering og gjør sjåførers lokalkunnskap til en nøkkelressurs. Stengte gater og dårlig fremkommelighet reduserer tilgjengeligheten til mottaker, samtidig som butikker og forbrukere fortsetter å etterspørre varer. Samtidig som **sjåfører** er en viktig del av løsningen i et komplisert bybilde er det utfordrende å rekruttere og beholde dem og de står for den **høyeste andelen av kostnader** i en bransje hvor konkurranse på pris kan være beinhard. Det blir også vanskeligere å beholde sjåfører ettersom deler av bransjen er dårlig regulert, krever stadig mer av sjåførene og betaler mindre (Klassekampen, 2022).

Det poengteres i flere intervjuer at for å gjennomføre varelevering i tråd med måloppnåelse, er det mer nødvendig enn før å bruke de mest hensiktsmessige transportmidlene til jobben som må gjøres. Lastebiler har en fordel ved at de kan ta mye og tung last og muliggjør effektiv varelevering i forhold til antall varer per kjørte kilometer. En ulempe er at de er uegnet for å kjøre i trange gater med mye trafikanter der det kan være negativt for trafiksikkerheten. Bransjeaktører ser derfor til nye kjøretøyteknologier som lastesykkel eller Paxster, men erfarer at det kan være **vanskelig å vite hvordan man integrerer nye kjøretøy med eksisterende systemer**. Noen påpeker at ny kjøretøyteknologi også kan påvirke bruken, for eksempel ruteinndelingen. Det kan gi nye muligheter for måloppnåelse (tidseffektivitet og økonomisk effektivitet, lave utslipp) samtidig som det kan være krevende å utvikle nye systemer som er optimale for varelevering i by i tråd med måloppnåelse.

## 3.4 Utfordringer for oppnåelse av Statens vegvesen sine toppmål

I Nasjonal transportplan (NTP) 2022-2033 er det overordnede målet «Et effektivt, miljøvennlig og trygt transportsystem i 2050», med fem delmål om:

- i) Mer for pengene
- ii) Effektiv bruk av ny teknologi
- iii) Bidra til oppfyllelse av Norges klima- og miljømål
- iv) Nullvisjon for drepte og hardt skadde
- v) Enklere reisehverdag og økt konkurransevne for næringslivet.

Delmål v) er et særlig bredt mål, og vi har valgt å sammenfatte det til «fremkommelighet».

I intervjuene med representanter fra Statens vegvesen ble det påpekt at arealbruk og universell utforming også er viktige mål som preger offentlige aktørers arbeid med bytrafikk.

Logistikkaktører og Statens vegvesen har noen felles mål (jf. figur 3.1) i form av sikker og miljøvennlig varelevering. Økt tidseffektivitet – ett mål for logistikkaktører – kan også sees å være gunstig for Nullvisjonen<sup>9</sup>. For eksempel vil kortere avstand mellom terminal og mottaker bety at kjøretøyet for varelevering bruker mindre tid på veiene, som igjen betyr at andre trafikanter blir mindre eksponert for kollisjoner i trafikken. Tidseffektivitet i varelevering kan også være gunstig for arealbruk. For eksempel, jo mindre tid brukt på kjøring og venting, desto mindre areal blir beslaglagt over tid.

Som tidligere nevnt medfører regelverket, kundekrav og kompliserte kjøremønstre at **transportører må kjøre unødvendig langt og kronglete**. Summen er at det blir vanskelig for både private og offentlige aktører å oppfylle krav til miljø, trafikkreduksjon, osv. Et stort dilemma for offentlige aktører innen bylogistikk er at tiltak som prioriterer fremkommelighet for syklister og fotgjengere kan øke avstanden transportørene må kjøre. Det fører også til færre parkeringslommer og -plasser som også utfordrer fremkommelighet og reduserer tilgang til varemottak for logistikkaktører (jf. 3.3). Selv om det er forståelse for at byer innfører bylivstiltak, bekymrer logistikkaktørene seg for at de mister tilgang til kundene ved at gågater og andre bilfrie områder **innskrenker vareleveringsmulighetene**.

**Knapphet på areal** er en hovedgrunn til at offentlige aktører ikke kan løse logistikkbransjens utfordringer knyttet til fremkommelighet, tilgjengelighet og forutsigbarhet. Trafikanter må dele på det som er av areal i byer, og det blir hele tiden en «kamp» mellom bil, sykkel og gående. Selv om kommuner jobber bredt med både næringer og avdelinger for kommunale planer, byplaner eller regulering, er erfaringen at det sjeldent settes av nok plass til vareleveringer og godstransport til og fra butikker. Som et resultat blir lastebiler og varebiler ofte stående på fortauet eller i gatene for å levere eller hente varer, til hinder for andre trafikanter. Den andre store utfordringen er netthandelen og alle hjemleveringene hvor en får godsbiler i bolig-gater og områder der det ikke skal være biler. Dette, sammen med buds, lastesyklister og varebilsjåførers bruk av gater og veier, **gjør bruk av uegnet veiinfrastruktur** til en utfordring også for offentlige aktører. Skilt er et virkemiddel for at reguleringer og tildeling av areal skal følges, men **manglende håndheving** gjør at skiltene mister kraften.

For Statens vegvesen kan bruk av tyngre, **større kjøretøy** for varelevering **true** oppnåelse av mål for **fremkommelighet, trafikksikkerhet, klima og arealbruk**. Det vil derfor være gunstig for Statens vegvesen å bidra til varelevering hvor kjøretøyene som er brukt ikke bidrar til utslipp eller støy i byen, og kjøretøy som er så lette og så små som mulig for varene som må leveres, samtidig som de er egnet for veiene og gatene de skal bruke.

---

<sup>9</sup> Statens vegvesens mål om ingen drepte eller hardt skadde i veitrafikken.

En siste utfordring som ble nevnt var at varelevering i tråd med logistikkaktørens mål er noe som krever «solidaritet i alle leddene», og at dette er vanskelig å få til i praksis. For eksempel setter mottakerens begrensede tilgjengelighet ofte premisser for varelevering, som må skje innenfor en viss tidsperiode (slik som butikker som ikke åpner før klokken 10). Dette kan skape mer trafikk og redusere fremkommelighet for alle. Det å få til en varelevering i tråd med Statens vegvesens mål er **en systemutfordring**, men det er vanskelig å engasjere alle aktørene i systemet som påvirker varelevering og som derfor må samarbeide om løsninger.

## 4 Automatiserte kjøretøy og effekter på måloppnåelse

### 4.1 Automatiserte kjøretøy for varelevering

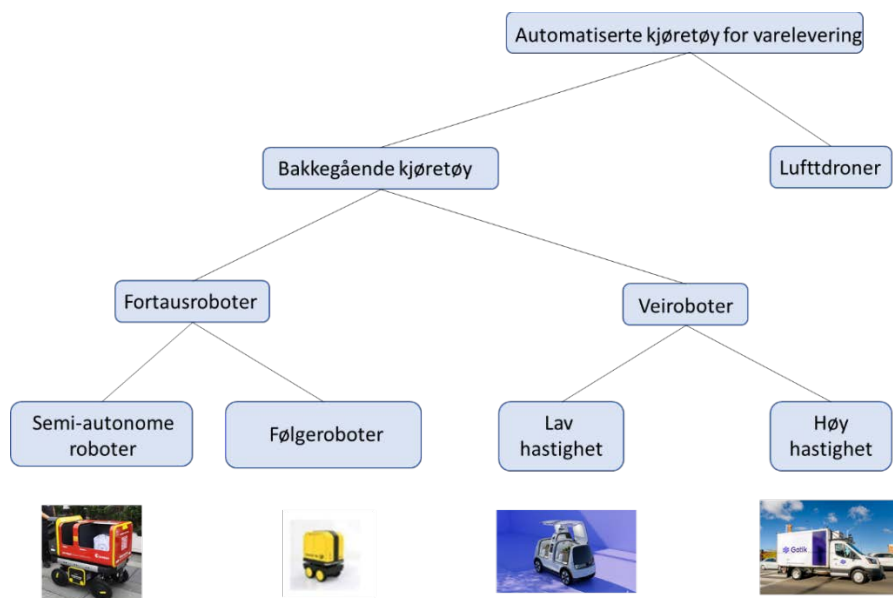
#### 4.1.1 Automatiseringsnivåer

*Society of Automotive Engineers* (SAE) har definert fem nivåer av automatisert kjøring for landbaserte kjøretøy<sup>10</sup>. Teknologi på SAE-nivåer 0 til 3 krever fortsatt at en menneskelig sjåfør opererer kjøretøyet. På nivå 3 kan kjøretøyet kjøre seg selv i enklere situasjoner, men det kreves at sjåføren tar over kjøreoppgaven ved behov. På nivå 4 er tilgjengelig sjåfør (om bord) ikke en forutsetning for kjøreoppgaven, men teknologien vil fortsatt kun kjøre på avgrensede strekninger eller under visse betingelser. På nivå 5 kan kjøretøyet kjøre seg selv i alle situasjoner.

Så langt har nivå 4 blitt nådd bare i definerte områder med støtte fra den omkringliggende infrastrukturen. Et viktig begrep i teknologi for automatiserte kjøretøy på nivå 4 er kjøretøyets *Operational Design Domain*, som er det driftsområdet hvor forutsetningene for sikker drift møtes og kjøretøyet kan fungere uten at en menneskelig operatør må gripe inn. Å forstå både hvor et automatisert kjøretøy kan fungere og hva som må til for å utvide dette området kan være avgjørende for fremtidig nytte av automatiserte kjøretøy i logistikk.

#### 4.1.2 Kjøretøykategorier

Høyt automatiserte kjøretøy for varelevering kan deles inn i to hovedkategorier: automatiserte bakkegående kjøretøy (*autonomous ground vehicles*) og luftdroner (*autonomous aerial vehicles*). Disse kan igjen deles inn etter kjørehastighet, teknologinivå, vekt, størrelse og bruksområdet (figur 4.1).



Figur 4.1: Kategorier for automatiserte kjøretøy (tatt fra Buldeo Rai et al. 2022)

<sup>10</sup> [SAE Levels of Driving Automation™ Refined for Clarity and International Audience](#)



For sisteledds-distribusjon i byer er det større interesse for automatiserte bakkegående kjøretøy enn luftdroner. Selv om luftdroner har høyere toppfart og ikke påvirkes av veitrafikk, er de av flere vurdert som mindre attraktive for varelevering i byer, siden de har høyere risiko og er strengere regulert (Ostermeier et al. 2021; Alfandari et al. 2022; Bachoffner et al. 2022; Buldeo Rai et al. 2022). I løpet av prosjektperioden har vi likevel sett en voksende interesse for dronelevering i Norge, for levering av varer eller spesielle pakker ut fra byene til distriktene eller sykehus, der dronene gjerne flys over vann.

Tabell 4.1 viser egenskaper for noen bakkegående kjøretøy for varelevering som er tilgjengelig i dag. (Se Vedlegg 3 for en illustrasjon av ett kjøretøy i hver kategori.)

Tabell 4.1: Egenskaper ved forskjellige kategorier av kjøretøy for varelevering med teknologi for automatisering på nivå 3-4.

Kategori	Hastighet (km/t)	Kjøretøyets vekt (kg)	Laste-kapasitet (kg)	Rekke-vidde (km)	Eksempel
Fortausroboter	<16	<100	<50	6-20	Amazon Scout; Kiwibot; Starship Robot; Serve Robotics
Veirobot: Lav hastighet	<70	<1200	<300	50-100	Nuro R3, Duck Train, Neolix
Veirobot: Høy hastighet	>70	>1200	>300	350	Udelv, Gatik

**Fortausroboter** har blitt tatt i bruk i stadig flere byer for å gjennomføre transport av varer over korte strekninger. De kjører i såpass lav hastighet at de anses som lettere å innføre fra et regulatorisk og sikkerhetsmessig perspektiv sammenlignet med droner eller større kjøretøy. Fortausroboter kan bli delvis fjernstyrt gjennom områder og miljøer der de ikke kan navigere selv (Srinivas et al., 2022; Buldeo Rai et al., 2022; Bachoffner et al., 2022; Heimfarth et al. 2022 Alfandari).

**Veiroboter.** Kjøretøy for bruk på vei med **lav hastighet** kan gjennomføre flere leveranser i et større område, fordi de har relativt stor kapasitet og høyere hastighet enn fortausroboter. Samtidig stilles det høyere krav til regulering. Siden disse kjøretøyene ikke er tillatt på fortauet, kan fremkommelighet og tilgang til varemottak være noe mindre enn for fortausroboter. Samtidig er de vanligvis mindre i størrelse enn en varebil og kan passe inn i et bybilde med trange gater.

Kjøretøy for bruk på vei med høy hastighet har begrenset potensial når det gjelder bruk for varelevering i by. Slike kjøretøyer er store, tunge og kan oppnå høy hastighet, så passer dårligere inn i et komplekst trafikkbilde som mange bysentra har (Buldeo Rai et al., 2022). De er mest egnet for enklere transportetapper, for eksempel mellom to distribusjonssentere, og kanskje for bruk i byområder utenfor sentrum. Mens noen kjøretøy i denne kategorien er utviklet fra bunnen og opp for høyt automatisert kjøring, er også konvensjonelle kjøretøy utstyrt med sensorer og annen automatiseringsteknologi som gjør det mulig å kjøre autonomt. Av de tre kategoriene i tabell 4.1, har høyhastighetsrobotene de høyeste kravene fra et regulatorisk perspektiv på grunn av høy fart og vekt.

### 4.1.3 Konsepter for bruk av automatiserte kjøretøy

Ut fra litteraturen vi har sett på finnes det fire hovedkonsepter for bruk av automatiserte kjøretøy for varelevering i by:

1. Direkte
2. Fast distribusjonssenter
3. Mobilt distribusjonssenter
4. Platooning med følgerboter.

### 1) Direkte

Det er det enkleste konseptet, hvor automatiserte kjøretøy eller droner lastes med pakker på terminal og kjører direkte til leveringsstedet. Det trengs enten infrastruktur eller et menneske for å laste, losse og å ta imot varene når de kommer frem, men selve godstransporten er automatisert (Srinivas 2022). Som et eksempel er dette et fokusområde for selskapet Gatik (figur 4.2) som er en leverandør av automatiserte kjøretøy med høy hastighet. Kjøretøyet klarer å kjøre enkelte ruter automatisk for å levere varer mellom et varehus og en butikk (Garsten, 2022).



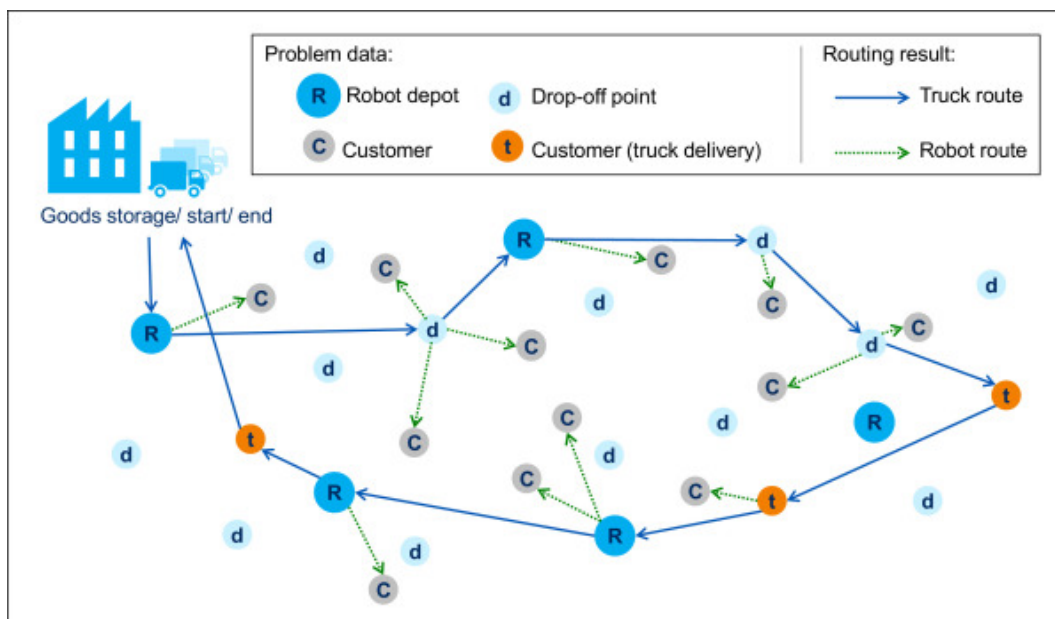
Figur 4.2: Bilde tatt fra Gatiks nettside (gatik.ai).

### 2) Fast distribusjonssenter

Mindre, faste distribusjonssentre (huber eller minihuber) kan bli brukt til å støtte automatiserte kjøretøy og utvide muligheter for levering ved bruk av fortausroboter eller veiroboter med lav hastighet—særlig hvis kjøretøyene har begrenset rekkevidde. Typisk transporteres godset til et distribusjonssenter i nærheten av leveringsområdet hvor pakkene omlastes til automatiserte kjøretøy som fullfører det siste transportleddet (Kloster et al. 2022; Liu et al. 2022). Alternativt, som i pilotstudien med fortausroboten vi observerte, kan automatiserte kjøretøy brukes for å hente varer fra forretninger til en byhub i nærheten, for videre transport til en større terminal eller en kunde. Huber kan være av forskjellige størrelser avhengig av behov og kan bli brukt til oppbevaring av pakker og lading av kjøretøy. Huber med mange fasiliteter krever større investeringer i infrastruktur, men selv et nettverk av små sentre vil innebære betydelige kostnader (Heimfarth et al. 2022).

### 3) Mobilt distribusjonssenter

Et større kjøretøy brukes for å transportere pakker og/eller mindre autonome kjøretøy og droner til leveringsområdet. De mindre kjøretøyene kjører ut til forskjellige destinasjoner, leverer pakkene og kjører tilbake til det mobile distribusjonssenter, for enten å fylle på nytt eller kjøre til et nytt område. De to hovedfunksjonene—mobilt depot og levering for sisteledd—kan gjennomføres på ulike måter som kan tilpasses ulike situasjoner (se figur 4.3) (Heimfarth et al., 2022).



Figur 4.3: Eksempel av ruteplanlegging med huber, roboter og varebiler, hentet fra Heimfarth et al. (2022).

På denne måten kan roboter, droner, lastesykler, varebiler eller mennesker brukes i forskjellige roller (Alfandari et al. 2022; Najy et al. 2022; Heimfarth, 2022; Buldeo Rai et al. 2022; Wang et al. 2022; Zang et al. 2022). Et autonomt kjøretøy kunne for eksempel kjøre rundt for å overføre pakker til et bud til fots slik at budet slipper å lete etter parkering—eller det motsatte, at en sjåfør kjører små fortausroboter til et sted hvor de drar ut og leverer pakker og møter det store kjøretøyet igjen etter leveringen, for å hente flere pakker.

#### 4) Platooning med følgeroboter

«Platooning» er en strategi hvor autonome kjøretøy kobles sammen i rekke, følger etter et ledende kjøretøy som kan være automatisk eller kjøres av en sjåfør. I sisteleddsdistribusjon kan slike følgeroboter, for eksempel bli brukt for å øke kapasiteten til en lastesyklist eller bud til fots. Denne strategien kan også brukes for å lede automatiserte kjøretøy gjennom et område de ikke har tillatelse til å kjøre autonomt i (Schomakers et al. 2022). Platooning er ansettes som en måte å venne samfunnet til utvidet bruk av autonome kjøretøy ved å introdusere teknologien gradvis (Buldeo Rai et al. 2022).

Det er stor variasjon innenfor konseptene 1 til 4 avhengig av hvor mange, hvilken type og i hvilken kombinasjon de autonome kjøretøyene brukes. Droner og roboter kan bli tatt i bruk i forskjellige kombinasjoner avhengig av området det skal transporteres gjennom, type og dimensjonene av varene som leveres, fysisk infrastruktur (veier, distribusjonssentre) og kjøretøy (Buldeo Rai et al. 2022; Kloster et al. 2022; Heimfarth et al. 2022).

#### 4.1.4 Organisering av varelevering

Det er ukjent hvilke forretningsmodeller som blir gjeldende for bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering. Ut fra kommentarer fra bransje- og fageksperter er det sannsynlig at automatiserte kjøretøy vil medbringe nye forretningsmodeller til varelevering. Store avsendere som grossister vil kunne jobbe direkte med produsentene. Produsentene vil kunne tilby nye flåtetjenester, istedenfor at en tredjepart (transportør) brukes. *Total cost of ownership* (TCO) vil påvirke hvordan bruk av automatiserte kjøretøy blir organisert.

Våre observasjoner av Postens feltstudie viser også hvordan bruk av automatiserte kjøretøy kan endre antall og type ledd i varelevering, og krever at nye og flere aktører er involvert i levering: Før studien kjørte BCE-varebiler fra en terminal utenfor byen, for å hente varer fra en restaurant i

sentrum. I pilotstudien ble butikkansatte, teknikere fra teknologiselskapet, en plattform for styring av automatiserte flåter og selve kjøretøyet også involvert som aktører som bidro til gjennomføring av funksjoner i varelevering.

## 4.2 Kan kjøretøy for automatisert varelevering bidra til måloppnåelse for logistikkaktørene?

### 4.2.1 Hvordan automatiserte kjøretøy kan bidra til logistikkaktørenes måloppnåelse

Tabell 4.2 viser at logistikkaktører har som mål å levere varer i by som er økonomisk og tidsmessig effektiv, sikker, sosialt ansvarlig, miljøvennlig, praktisk for kundene og bidrar positivt til selskapets omdømme. Ifølge intervjuer med de som jobber i varelevering og fageksperter har automatiserte kjøretøy potensial til å bidra til oppnåelse av disse målene på flere måter (tabell 4.2).

Tabell 4.2: Hvordan automatisert kjøretøy kan bidra til logistikkaktørens måloppnåelse.

Mål	Hvordan kan automatisert kjøretøy bidra?	Potensielle ulemper
Økonomisk og tidseffektiv	<b>Redusere sjåførkostnader:</b> Avhengig av automatiseringsgrad og situasjon, muliggjør automatiserte kjøretøy organisering av varelevering med redusert eller ikke noe behov for sjåfører/syklister/bud.	Sjåfører og syklister gjennomfører mange andre oppgaver enn kjøring som må tas hensyn til. Nye roller blir nødvendig for kundeservice, overvåking, vedlikehold, manuell kjøring ved behov. Hvor mange persontimer vil trenge og hva vil det koste?
	<b>Økt produktivitet:</b> Uten behov for sjåfør, kan flere kjøretøy driftes slik at det blir mulig å utvide kapasitet i flåten. I tilfeller der kundekrav overstiger kapasitet, kan produktiviteten økes.	Ukjent hvor mange kjøretøy et menneske kan ha med seg, overvåke og evt. styre. Infrastrukturens kompleksitet vil ha noe å si.
	<b>Optimal organisering:</b> Uten behov for sjåfør kan flere og ulike typer av kjøretøy driftes for optimal organisering / dispatch <ul style="list-style-type: none"> <li>- Den mest hensiktsmessige kjøretøyflåten kan brukes til varene som må leveres mtp. fyllingsgrad, energibruk/utslipp per kg levert, tetthet av leverings-/hentepunkter, kjøretøy med dimensjoner egnet for mest effektiv rute osv.</li> <li>- Flere lettere kjøretøy vil også gjøre tilgjengelig flere og mer direkte ruter og stoppesteder som er nærmere varemottaket.</li> <li>- Uten behov for sjåfør, blir levering mulig på «usosiale» tider av dagen/uken der det kan være mindre trafikk.</li> </ul>	Hva vil det koste å kjøpe/leie drifte en slik flåte? Kan varene leveres på usosiale tider eller vil det fortsatt være behov for skiftarbeid?
	<b>Materielle kostnadsbesparelser:</b> Er kjøringen tryggere, blir det også færre materielle skader og uhell i trafikken og på terminaler, med kostnadsbesparelser for forsikring, reparasjon og vedlikehold. Erfaring fra terminalene viser at slitasje og vedlikehold kan reduseres med automatiserte kjøretøy (for eksempel laser guided vehicles) – de er pålitelige, krasjer mindre enn manuelle kjøretøy og det er mindre behov for reparasjoner. Levetiden vurderes også å være lengre, blant annet på grunn av lavere ulykkesrisiko.	Det stemmer nok for kjøretøy med lav hastighet, men ukjent for kjøretøy for høyhastighets vei. Innkjøpsprisen (foreløpig) er høyere Vil det være andre materielle skader fra hærverk f.eks.?
Trafikksikkerhet	Flere lettere kjøretøy kan driftes som medfører mindre vekt i en kollisjon. Er kjøringen tryggere blir det sikrere kjøring og mindre risiko for ulykker. Kjøreatferden kan være mer forutsigbar for andre trafikanter.	Avhengig av kjøreteknologi og data det er avhengig av, standardisering og kommunisering (exHMI), hvilken rute og type vei som er valgt, tid på dag (synlighet, trafikk-mengde), valg av stoppested, infrastruktur-elle tilpasninger. Det er mye bråstopp i startfasen når kjøretøy er under opplæring.
Sosialt ansvarlig	Mulighet å forbedre arbeidsforhold i varelevering, for eksempel mindre stress i trafikken, nye jobber som krever flere ferdigheter.	Ukjent om automatisering er noe som ansatte selv ønsker.
Miljøvennlig	Automatisering kan redusere utslipp og støy ved å stimulere for elektrisk kjøretøy. Overgangen til elektriske kjøretøy blir enklere uten mennesker blant annet fordi skiftet i kjøretøytype (fra lastebil til sykler) krever flere kjøretøy og potensielt sjåfører. Det vil også kunne bidra til energibesparelser som del av en mer sømløs varelevering.	Mål og tiltak allerede iverksatt som stimulerer for bruk av elektrisk kjøretøy i varelevering. Mer sømløs varelevering krever at systemer for lasting, lossing, flåtestyring osv. blir også automatisert.
Praktisk for kundene	Kan være mer tidseffektivt, fører til redusert kostnader for levering, og pakker som kommer videre frem til kunden.	Mer tidseffektiv varelevering er avhengig av mye mer enn bare kjøretøyet. Kundene kan bli nødt til å ta på seg nye oppgaver (for eksempel hente varer fra kjøretøy selv).
Bidra til omdømme	Kan bli sett som positivt at bedriften tar i bruk ny teknologi og forbedre varelevering.	Kundene og samfunnet må ha tillit til teknologien.

En stor fordel med automatiserte kjøretøy er at de har potensialet til å muliggjøre forbedret gjennomføring av de to sentrale funksjonene i varelevering i by – utsendelse og kjøring (jf. 3.2; Vedlegg 6). Når det gjelder utsendelse, kan logistikkaktørene ha mulighet til å organisere varelevering uten behov for menneskelige sjåførere. Dette kan ikke bare redusere kostnadene betydelig, men kan gi mer fleksibel kapasitet og rutevalg til flåten som brukes til varelevering. Modellering og ruteplanlegging med bruk av autonome kjøretøy for varelevering bekrefter stort potensial for effektivisering av logistikkoperasjoner, særlig knyttet til reduserte kostnader, utslipp og energibruk (Kloster et al. 2022; Heimfarth et al. 2022; Aflandari et al. 2022; Vedlegg 1). Dette er avhengig av at kjøretøyene klarer å håndtere kjøring i leveringsområder og er støttet av infrastruktur.

Når det gjelder kjøring, kan automatiserte kjøretøy være lettere og mindre i størrelse (uten behov for sjåførplass), og dermed redusere risiko for skader i trafikken og eventuelt redusere energibruk. Trafikksikkerheten kan også forbedres ved at kjøringen blir mer pålitelig og forutsigbar for andre trafikanter, og at det blir gjort i tråd med trafikkreglene og uten ulovlig parkering. I våre observasjoner av Postens test av autonom varehenting på Aker Brygge i Oslo, så vi at kjøreoppgaven kan gjennomføres av fortausroboter ganske smidig etter en kort periode «i opplæring». Kjøretøyet var egnet til å navigere, samhandle og til en viss grad kommunisere med andre trafikanter, og samarbeidet også med kunder eller ansatte på terminalen for å laste og losse varer.

### 4.2.2 Måloppnåelse gjennom nye måter å organisere varelevering på

Fra intervjuer med bransjeraktører fremgår det at flere logistikkaktører ser mulighet for at autonome kjøretøy kan brukes som et lager for oppbevaring av varer for butikker med lite lagerplass, men med regelmessig behov for påfyll av varer. En annen mulighet er at de brukes av håndverkere som jobber i områder der det er langt til nærmeste parkeringsplass. «Containerization» blir også i større grad mulig med automatiserte kjøretøy, der for eksempel en mobil hub kjøres frem og tilbake for å «mate» utplasserte lastesyklister eller sjåførere. I flere intervjuer ble det nevnt at automatiserte kjøretøy også kunne være et støttesystem som øker effektiviteten til sjåførene. For eksempel at et kjøretøy følger etter et bud i gangfart mens budet leverer, eller følger etter en lastesykkel for å øke mengden gods sykklisten kan levere på en runde (jf. Konseptet «Platooning med følgerobot»).

### 4.2.3 utfordringer som automatiserte kjøretøy kan løse

Gitt at automatiserte kjøretøy kan bidra til måloppnåelse, er det sannsynlig at de største aktørene i varelevering vil ønske å teste og eventuelt ta i bruk de nye kjøretøyene idet de blir tilgjengelige. Interessen vil være større hvis kjøretøyene også løser noen av utfordringene logistikkaktører har for måloppnåelse. Ved bruk av utfordringene identifisert i del 3.3, ser vi at automatiserte kjøretøy kunne bidra til å økt **tilgang til varemottak og hentested**, hvis automatiserte kjøretøy kan kjøre på mindre veier og stier enn kjøretøyene som brukes i dag. På lignende vis kunne automatiserte kjøretøy, hvis de er lettere, også tilfredsstillende **kundekrav** knyttet til valg av hentepunkt (hjemme, på butikk osv.), ettersom flere kjøretøy vil kunne nå frem til flere kunder. Ved å gjøre mer kapasitet i flåten tilgjengelig på flere tidspunkter i løpet av en dag, kunne automatiserte kjøretøy også møte kundenes ønsker om leveringstidspunkt. Automatiserte kjøretøy vil også bidra til å løse utfordringer knyttet til **sjåfør-mangel** som logistikkaktørene står overfor. Autonome kjøretøy kan bidra til å avlaste mennesker, dette kan igjen føre til at varelevering blir et mer spesialisert serviceyrke med bedre arbeidsforhold og høyere lønn.

### 4.2.4 utfordringer som automatiserte kjøretøy ikke kan løse

På den annen side er det flere utfordringer som automatiserte kjøretøy ikke kan løse. Kjøretøyene i seg selv vil ikke løse utfordringer knyttet til **fremkommelighet**. Hvis lettere kjøretøy får tilgang til smalere gater og stier med mange andre trafikanter, er det usikkert om fremkommelighet for varelevering blir bedre eller verre. For automatiserte kjøretøy som bruker vei, forventer vi at fremkom-

melighet for varelevering blir uendret (og kanskje verre uten en sjåfører til stede som kan tilpasse seg hindringer og «ta snarveier»). Det komplekse bybildet med lav **forutsigbarhet** blir også uendret. En kommenterte i et intervju at innføring av automatiserte kjøretøy vil kreve en holdningsendring og en systemendring, som kan bidra til å belyse utfordringene innen fremkommelighet og komme frem til gode løsninger.

Som med andre nye kjøretøy, blir det også vanskelig for logistikkaktører å vite **hvordan de skal innlemme de nye kjøretøyene** i eksisterende operasjoner. Hvor, når og hvordan autonome kjøretøy kan bli integrert i nåværende logistikkjeder er avhengig av 5 aspekter (Buldeo Rai 2022):

- infrastruktur
- hastighet
- SAE nivå
- størrelse
- kapasitet.

Systemanalysen i figur 3.1 (og Vedlegg 6) viser hvor mange faktorer som må regnes med når nye kjøretøy tas i bruk.

Det er også vanskelig å se hvordan varelevering med automatisert kjøretøy skal håndtere utfordringen med at «**sjåføren må løse alt**» i varelevering i by. Flere nevnte i intervjuer at automatiserte kjøretøy vil ha utfordringer med å nå mottakeren – og som en konsekvens få mer ventetid, flere bomturer og yte dårligere service. Ut fra kognitive intervjuer med lastesyklister vet vi også at sjåfører, bud og syklister gjennomfører mange oppgaver i tillegg til kjøreoppgaven for å få til en smidig varelevering i et komplekst bybilde. Mange av disse oppgavene kan være usynlige for ledelsen som likevel må ta hensyn til dem før automatiserte kjøretøy innføres.

Spesielt for lastesyklister er organisering av utsendelse (dispatch) en prosess som vokser frem av forhandling mellom sykklistene på terminalen de leverer ut fra. Sykklistene finsorterer og planlegger ruter ofte i samarbeid med hverandre og med eventuelle varebilsjåfører som også leverer ut fra terminalen. Slike menneskelige prosesser må automatiseres når lastesyklister eller sjåfører ikke er til stede. Erfarne sjåfører / lastesyklister har også ofte en dyp og oppdatert forståelse av rutene de kjører på, og er flinke til å tilpasse seg utfordringer som dukker opp i bygater.

Eksempler på andre oppgaver som må planlegges for når varelevering automatiseres er:

- Laste / losse kjøretøy
- Ringe til og orientere kunden
- Avtale leveringssted og tidspunkt med kunde
- Finne effektiv, trygg og behagelig rute
- Lokalisere mottakeren / avsenderen
- Parkere
- Overlevere pakke til mottaker / motta fra avsender
- Få bekreftelse fra kunden om at pakken er hentet / levert
- Sykkelledlikehold, lading og vasking osv.
- Hjelp til med lasting og lossing av andre kjøretøy

I tillegg identifiserte lastesykklistene flere utfordringer som dukker opp i løpet av arbeidsdagen som automatiserte systemer må kunne håndtere. Noen eksempler er:

- En lastebil som leverer pakker fra en hovedterminal som blir forsinket
- En lastebil kan bli feil lastet, slik at pallene ikke er tilgjengelig for lossing og overføring til automatisert kjøretøy
- Et kjøretøy som må ta på seg ekstra levering for et annet kjøretøy er i ustand

- Problemer med en rute til en av de andre syklistene eller varebilsjåførene, f. eks flere leveringer enn forventet
- Uforutsigbar sortering gjort «oppstrøms», f.eks på hovedterminalen
- Store esker som må leveres i nærheten som en lastebil ikke kan ta
- Pakker for henting som plutselig må hentes fra en kunde / kunde ringer med streng tidsfrist
- Pakker som er langt utenfor syklistens foretrukne rute
- Gatenummer/butikknavn på klistrelapp er ikke korrekt
- Behov for å reparere kjøretøy.

Selv om det kan være store kostnadsbesparelser ved at maskiner overtar deler av varetransporten, er erfarne sjåfører en av de viktigste brikkene for å sikre god varelevering i et komplekst bybilde. De er kort sagt bedre enn roboter til å håndtere uforutsette utfordringer og kan navigere i mer variert infrastruktur. De kan også ha viktige roller når det gjelder kunderelasjoner, salg og markedsføring, overvåking, styring og håndtering av varer og uforutsette eller vanskelige situasjoner. Logistikkaktørene vil ha kontroll over kundene sine og «god kvalitet på transporten hele veien». Dette innebærer at logistikkaktørene vet at varene kommer frem med avtalt kvalitet. Hvis automatiserte kjøretøy reduserer kundekontakten, får ikke selskapene tilbakemelding fra kundene, og det kan det gå ut over tillit og kvalitet til selskapenes merkevarer.

Det stilles spesielt spørsmål ved om **overføringen av varer fra kjøretøy til mottaker** er egnet for automatisering. Fullautomatisert varetransport medfører at mottakeren må betjene kjøretøyet og hente varene selv, og flere i intervjuene stiller spørsmål ved om mottakeren er villig til å gjøre dette. Dette gjelder særlig leveranser med store kolli eller volum. Volumleveranser krever ofte stabling i hyller hos mottakeren, og i slike tilfeller er det menneskene som følger med bilen som skaper den virkelige verdien for mottakeren (utplassering i hyller, sikrer at varene er der de skal være som avtalt). Det stilles spørsmål ved om mottaker har tid, kompetanse og utstyr til å håndtere dette. I tillegg til kompetanse og utstyr, vil håndteringen ta tid og koste penger for mottakeren. Autonom håndtering av store enheter krever systemendringer. En kombinasjon av autonom kjøring og spesialiserte varehåndteringsoppgaver utført av mennesker kan gi mer verdi for pengene. Sjåfører med uniform og utstyret i orden representerer en merkevare og en trygghet om at varene blir levert som de skal. Sjåfører kan også yte en ekstra service og fleksibilitet som autonome kjøretøy ikke kan. Dette kan være tunge løft, retur av emballasje, rydding, snørydding osv.

Et viktig spørsmål som logistikkaktørene etter hvert må finne svar på er derfor hvordan logistikkoperasjoner kan effektiviseres med automatisert kjøretøy samtidig med at mennesker fortsatt er tilgjengelig for viktige tilpasninger og for å løse komplekse utfordringer (Williamson, 2022). Postens feltstudie illustrerte også dette: Mens kjøretøyene i stor grad behersket å kjøre, navigere og samhandle med andre trafikanter, oppsto det ofte uvanlige eller sosiale situasjoner i trafikken som betydde at kjøretøyet trengte bistand fra en menneskelig operatør (Vedlegg 6). Det gjenstår å se hvor mange operatører det blir nødvendig å ha per kjøretøy for ulike typer av automatiserte kjøretøy i ulike situasjoner. Dette vil nok henge sammen med infrastrukturelle tilpasninger som kan innføres for å unngå situasjoner som er krevende for automatiserte kjøretøy å håndtere.

### 4.3 Hvordan vil automatiserte kjøretøy påvirke Statens vegvesens toppmål?

Her oppsummerer vi relevante funn fra litteraturgjennomgangen, feltstudien og intervjuer med representanter fra Statens vegvesen og andre i logistikkbransjen, om hvordan bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering vil påvirke oppnåelse av Statens vegvesens toppmål, som er beskrevet i del 3.4.



### 4.3.1 Mer for pengene

Autonome kjøretøy kan gi samfunnet **mer økonomisk bærekraftig** (kostnadseffektiv) **varelevering**, ved å unngå behov for ett menneske per kjøretøy, ved å redusere sjåfør- og materielle kostnader, og ved å gi flere muligheter for organisering av utsending. Ved å muliggjøre en mer sømløs logistikk kan automatiserte kjøretøy også bidra til å **redusere energibruk** i varelevering.

Automatiserte kjøretøy kan kjøres uten sjåfører som er underlagt kjøre- og hviletidsbestemmelser, og de kan derfor jobbe så lenge som teknologien tilsier – eller så lenge som støttesystemer, teknikere og fjernoperatører kan jobbe. Dette kan muliggjøre bedre utnyttelse av døgnet, for eksempel bane veien for varelevering om natten, noe som kan **frigjøre kapasitet i vei- og gateinfrastrukturen** for passasjertransport og andre trafikanter på dagtid. En forutsetning for dette er at varene kan sendes og mottas om natten.

Automatiserte kjøretøy vil nok være mindre i størrelse og lettere enn kjøretøyene som brukes til varelevering i dag. De vil heller ikke måtte parkeres for å vente på sjåfører som tar pauser. De kan derfor **frigjøre areal** sammenlignet med dagens kjøretøy, men dette avhenger av at det ikke blir flere kjøretøy eller mer ventetid enn i dag, noe som ikke er sikkert at vil skje.

Utfordrende kjøremønstre for biler kan gi et **konkurransefortrinn for lettere kjøretøy**, og automatisering kan muliggjøre bruk av flere lettere kjøretøy i varelevering. Dette kan virke fordelaktig for samfunnet og bylivet i sentrale og urbane områder.

### 4.3.2 Effektiv bruk av ny teknologi

En grunn til at dette prosjektet ble gjennomført var å se på om automatiserte kjøretøy i varelevering i by er ønskelig, ikke bare for teknologiselskapene og logistikkatkjørene (jf. deler av 4.2.1-4.2.3), men også for samfunnet. I den forstand ser vi på «effektiv bruk av teknologi» som bruk av teknologi som bidrar til et bærekraftig samfunn. I tillegg til de andre delene i 4.3, supplerer vi her med andre måter automatiserte kjøretøy i varelevering kan bidra til et bærekraftig samfunn.

Vi har allerede tatt opp **sjåførmangelen** som er en del et ventet underskudd av lavlønnet arbeidskraft som noen allerede ser i Norge og andre land i Europa (og forventer å bli verre i de kommende årene). Dette er en drivende faktor for automatisering på linje med økonomi. I kapittel 5 diskuterer vi hvilken type oppgaver autonome kjøretøy kan erstatte i løpet av de neste ti år, og på den måten hjelpe til å takle sjåførmangelen.

Et tema som ikke er dekket andre steder i rapporten er **sosial bærekraft**. Noen i intervjuene har nevnt at automatisering av kjøreoppgaven kan bidra til å forbedre arbeidsforholdene i varelevering, fordi menneskene vil sitte igjen med mer komplekse og varierte oppgaver som krever mer kvalifikasjoner, og som kan bli gjennomført på mer «sosiale» tider på døgnet. Sjåfører kan brukes i nye stillinger for fjernovervåking/-kontroll av kjøretøy eller planlegging. Jobber som flere ønsker seg vil bidra til å løse problemer knyttet til «sosial dumping» som har vært problematisk i noen transportbransjer. Bruk av selvstendige næringsdrivende som underleverandør på transportkontrakter vil reduseres, og dette kan også bidra til å bedre arbeidsforhold i bransjen. **Universell utforming** av varelevering er også et viktig tema som kommer inn under sosial bærekraft. Flere vi snakket med mente at automatiserte kjøretøy ville innføre en større grad av standardisering i infrastruktur og kjøretøy, noe som skaper muligheter for mer universell utforming. Det kan også tenkes at automatiserte kjøretøy kan brukes til å levere varer til bevegelseshemmede personer eller levere medisiner til syke personer eller personer som ikke klarer å dra til apoteket.

En hypotese vi hadde på starten av prosjektet var at automatisering av kjøreoppgaven vil føre til kontorbaserte «sittende» jobber som kunne gå ut over den fysiske **helsen til de som jobber i bransjen**. Selv om dette ikke kom opp som et tema på intervju eller i de artiklene vi leste, vet vi at noen som jobber som bud og lastesyklister i bransjen liker arbeidet fordi de liker å være i fysisk

aktivitet. Det spørres derfor om nye typer av jobber vil friste de som nå jobber i bransjen eller om de vil byttes ut med andre personer. Vi trenger å vite mer om hvordan de nye systemene vil se ut og hvilke funksjoner mennesker vil gjennomføre for å kunne konkludere på dette (jf. kapittel 5).

En annen måte som automatisert varelevering kan påvirke **helse i samfunnet** på, er ved å ta over henting fra kunder som går eller sykler for å hente varer som er levert til en postkasse eller butikk i nærheten. Selv om vi ikke har kommet bort i en slik modell for bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering, er det viktig å tenke på hvordan bruk av teknologi påvirker oss når nye forretningsmodeller for bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering vokser tydeligere frem.

**Tillit til teknologi** i samfunnet er også viktig å ta hensyn til. I våre feltobservasjoner så vi at myke trafikanter i Oslo stort sett hadde positive holdninger og høy tillit til fortausroboten som Posten testet. Slik tillit kan likevel lett reduseres gjennom dårlige erfaringer. Det blir viktig at samspill mellom automatiserte kjøretøy og trafikanter testes grundig før utrulling i stor skala (jf. 4.3.4).

### 4.3.3 Klima- og miljø

Det er mye **usikkerhet knyttet til klima- og miljøgevinster** ved innføring av automatiserte kjøretøy. De kan bruke færre ressurser, ettersom de krever mindre reparasjon og vedlikehold, men kan også føre til flere kilometer kjørt på grunn av lavere kostnader knyttet til transport. Økt og mer fleksibel kapasitet er en grunn til at logistikkaktører er interessert i automatiserte kjøretøy, noe som kan redusere behov for å effektivisere bruk av eksisterende kapasitet. Store spørsmål gjenstår om økt effektivitet ved bruk av automatiserte kjøretøy som del av sømløs logistikk, noe som også vil kreve at systemene rundt kjøretøyet er automatisert (for eksempel lasting, lossing, sortering) og koordinert og kontrollert av logistikksystemer som har effektive algoritmer og maskinlæring for optimal utsendelse (dispatch) og ruteplanlegging. Selv om modellering tyder på at automatiserte kjøretøy kan effektivisere varelevering, er det stor usikkerhet knyttet til de mange variablene som må regnes med og den store variasjonen mellom situasjoner.

Det blir sannsynlig **lite gevinst når det gjelder utslipp** siden bilparken likevel blir stadig mer elektrisk, men hvis det brukes mindre kjøretøy kan det være mindre mikroplast, reduserte utslipp fra produksjon og frakt av kjøretøy og bedre energieffektivitet per kjørt kilometer. Dersom samlasting og henting av varer blir mer utfordrende enn med dagens løsninger, kan automatiserte kjøretøy medføre flere kjørte kilometer per pakke. **First-time delivery kan bli vanskelig** for automatiserte kjøretøy dersom mottakeren ikke er tilgjengelige. Mange bomturer vil skape mer trafikk og kostnader for samfunnet.

### 4.3.4 Trafikksikkerhet

Ifølge en såkalt «*Safe Systems*» tilnærming, er det viktig å ta hensyn til samspillet mellom sjåfør, kjøretøy og veimiljø/ infrastruktur når man styrer risikoene i trafikken. Når det gjelder automatiserte kjøretøy på SAE nivå 4, erstatter vi «sjåføren» med «operatør». Operatøren kan være kjøretøyteknologi eller et menneske som opererer til stede eller fjernt fra kjøretøyet. Kjøretøyteknologi består av sensorer, kameraer og datasystemer ombord, og den kan være avhengig av eksterne data som kommer fra satellitt, eller veidata og data fra veisensorer. Operatøren kan også være en menneskelig operatør som fjernstyrer kjøretøyet i spesielle situasjoner.

#### 4.3.4.1 Kjøretøy og menneske-maskin interaksjon

Her oppsummerer vi kommentarer fra intervjuer og informasjon fra seminarer om trafikksikkerhet. De gjelder stort sett for fortausroboter.

Lettere kjøretøy som kjører på lav hastighet har mindre fysiske krefter i en kollisjon enn vare- og lastebiler, så de kan bidra til redusert risiko for alvorlige trafikkulykker. Erfaringer fra tester på lukket område viser dessuten at autonome kjøretøyer generelt krasjer sjeldnere enn manuelle, men det er

likevel stor usikkerhet rundt trafikksikkerhet i alle systemer og kontekster som ulike typer av automatiserte kjøretøy skal brukes i. Det er lett å se for seg situasjoner som kan være utfordrende for sikkerhet og trygghet, spesielt når kjøretøyet er lastet med tunge pakker.

Prosjektet GLAD gjennomførte eksperimenter med fortausrobot og fotgjengere i et veikryss. Fotgjengerne viste seg å være forvirret hvis det automatiserte kjøretøyet kjørte for sakte, ettersom det ble vanskelig å forstå hvilken bane kjøretøyet ville kjøre i. Forsøk på å programmere kjørebegivelser som indikerte for fotgjengere hvordan de skal passere kjøretøyet lyktes ikke. Forskere anbefaler at kjøretøyet kommunisere sine «intensjoner» til trafikantene, heller enn forteller trafikantene hva de skal gjøre.

Våre observasjoner av Postens feltstudie viste et godt samspill mellom roboten og myke trafikanter, som ble bedre i løpet av testperioden idet kjøretøyet lærte mer om kjøremiljøet (for eksempel trenger ikke stoppe for en sprekk i fortauet) og typiske bevegelser som trafikanter gjorde. Trafikantene uttrykket stor tillit og positive holdninger til roboten. Likevel kunne uventede bevegelser, slik som bråbremsing å grunn av et ukjent objekt, virke forvirrende for fotgjengere som gikk bak eller ved siden av roboten. Situasjoner som krevde forhandling mellom roboten og en bilist var mer utfordrende. I to situasjoner så vi at den menneskelige bilsjåføren ikke kunne tolke hva fortausroboten som sperret veien for dem skulle gjøre. Skal automatiserte kjøretøy brukes i blandet trafikk, er det derfor viktig at i) menneskelige trafikanter forstår intensjoner til automatiserte kjøretøy og ii) automatiserte kjøretøy tilpasser seg eksisterende atferd og konvensjoner trafikken.

Noen veimyndigheter (for eksempel NHTSA i USA) pålegger at automatiserte kjøretøy må kommunisere sine «intensjoner» til andre trafikanter. Her vil standardisering være viktig for å unngå at trafikanter blir forvirret ved å måtte forholde seg til ulike former for kommunikasjon fra kjøretøy fra ulike selskap, eller til ulike signaler fra infrastrukturen i ulike byer. Draft ISO/DTR 23049 beskriver noen betingelser for kommunikasjon gjennom såkalt ekstern menneske-maskin interaksjon. Her er det understreket at det er viktig å tenke på systemet som kjøretøyene blir en del av. Signaler fra det automatiserte kjøretøy må være synlige og tydelige for trafikantene som det gjelder, samtidig som de ikke distraherer andre trafikanter. Signalene må virke for trafikanter med ulike egenskaper (slik som de som ikke hører godt, de som bruker mobil mens de går) og må ikke skape farlige situasjoner i systemkonteksten. Det er økende forståelse av hvordan kjøretøyene kan kommunisere med andre trafikanter gjennom kjøreatferd og ikke bare gjennom lys, lyd og skilt. Pågående internasjonale prosjekter ser på ekstern menneske-maskin interaksjon, og hva som trengs for å kommunisere et kjøretøys intensjoner til trafikanter (for eksempel grønt smilefjes viser trafikanter at de kan krysse veien hvis de vil). For å opprettholde tillit til teknologien og sikkerhet i trafikken er det viktig at intensjoner kommuniseres på en måte som mennesker forstår i konteksten de befinner seg i.

Flere intervjudeltakere var skeptiske til bruk av fortausroboter i gågater - både fra perspektiv av effektivitet, men også sikkerhet og trivsel. På kort sikt er det mest sannsynlig at risikoene styres ved å begrense hastighet i gågater og/eller separere roboten fra trafikanter eller motortrafikk ved bruk av geofencing eller fysiske barrierer, noe som vil kreve at den fysiske eller digitale infrastrukturen tilpasses. Logistikkaktørene vil innenfor visse grenser ikke være imot at kjøretøyene går saktere, fordi de ikke trenger sjåfør og derfor er billigere i drift. Bruken kan også fremmes ved at de får fortrinn ved å kunne kjøre på steder der andre kjøretøy ikke har tilgang.

#### 4.3.4.2 Operatør

Det er forskjellige typer av operatører:

- Kunder eller terminalansatte som må åpne/lukke kassen på kjøretøyet
- Terminalansatte eller personer som må styre kjøretøyet manuelt i for eksempel nødssituasjoner eller for å løse komplekse, uventede situasjoner

- Operatører som overvåker eller eventuelt styrer kjøretøyet som del av systemet for styring av en automatisert flåte, for eksempel
  - Operatør i et kontrolltårn – kan planlegge oppdrag, se gjennom kameraer for å vurdere situasjoner i trafikk
  - Driftskontroll, for eksempel kjøretøyleverandør overvåker sine kjøretøy
  - Flåtekontroll – logistikkaktør overvåker / styrer sin flåte
  - Veitrafikksentral – optimalisere drift av trafikk for alle som deler veien
  - Dedikert kjøretøykontroll

Det er usikkert hvilken kombinasjon av disse operatørene som vil brukes i fremtiden, og pågående prosjekter (f.eks. GLAD) ser på behov og menneskelige faktorer som må tas hensyn til i fjernovervåking og styring av kjøretøy. Det er sannsynlig at fjernoperatøren også må kunne kommunisere med trafikanter og andre (for eksempel nødetater, politiet, redningsselskap) som interagerer med kjøretøyet i trafikken, enten muntlig eller ved ekstern menneske-maskin interaksjon. Fjernoperatørens situasjonsbevissthet blir altavgjørende for sikre kontrollbevegelser. Her er også digital infrastruktur og konektivitet viktig for sikkerhet i trafikk. Et kjøretøy kan ikke fjernstyres sikkert hvis det er et forsinket eller forstyrret signal mellom kjøretøyet og operatøren.

#### 4.3.4.3 Infrastruktur

Klassifisering av nye typer av kjøretøy vil bestemme hvor de kan brukes, og vil derfor være viktig for trafikksikkerheten. Teknologi for automatisering av kjøretøy på SAE nivå 4 kan brukes til autonom kjøring kun i begrensede situasjoner, som beskrevet av kjøretøyet sitt definerte bruksområde (*operational design domain*, jf. 4.1.1). Dette er viktig fordi noen mener at det er kjøretøyet og dets avgrensede bruksområde som bør godkjennes av veimyndighetene, og ikke bare kjøretøyet.

Det er stor usikkerhet knyttet til tilpasninger til den digitale og fysiske infrastrukturen som ulike typer av automatiserte kjøretøy vil kreve av veimyndighetene, men det kan være et viktig bidrag mot optimal trafikksikkerhet. For fortausroboter kan slike tilpasninger sørge for at farlige situasjoner mellom syklistene og roboter ikke oppstår, og robotene kan holdes vekk fra fortauene som skal brukes primært av myke trafikanter. For kjøretøy med høy hastighet, kan veisensorer gi data til kjøretøyene for å informere om at kjøretøy foran på veien bråbrems, eller spesielle sensorer på tunnelveggene kan hjelpe til å styre kjøretøyene sikkert gjennom tunneler, der kjøretøysensorer ikke virker optimalt.

#### 4.3.5 Fremkommelighet

I del 4.2.4 diskuterte vi hvordan automatiserte kjøretøy vil kunne påvirke fremkommelighet for varelevering. I denne delen er vi opptatt av hvordan bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering kan påvirke fremkommelighet for andre trafikanter.

Et viktig spørsmål for bruk av fortausroboter er hvordan de vil påvirke fremkommelighet for myke trafikanter som utgjør en voksende andel av trafikantene i byer. Hvis vi antar at utfordringene for samspill mellom mennesker og robotene kan løses, er det fortsatt usikkert hvordan fremkommelighet vil påvirkes når fortausroboter fungerer i praksis. Har de mye ventetid? Hvor skal de vente? Hvordan blir samhandling hvis det er mange roboter i et bybilde? Samhandling med mennesker i komplekse situasjoner er viktig, og mennesker kan være distre, stressa og følger ikke alltid med. Klarer roboten å håndtere dette, eller blir det mange stopp og mye ventetid? Vil mennesker utnytte at fortausrobotene alltid vil være «høflige»?

Automatiserte kjøretøy kan forbedre fremkommelighet hvis tilpasninger er gjort til andre elementer i systemet. For eksempel kunne automatiserte kjøretøy kjøre inn i en gågate utenfor tillatt tidsvindu for varelevering, større autonome kjøretøy kunne hatt dedikerte plasser i byen sånn at håndverkere kunne hente ut verktøy, deler eller annet materialeutstyr uten at de trenger å ha en bil stående hele

eller store deler av arbeidsdagen. Dette ville gitt færre biler og potensielt bedre fremkommelighet for andre trafikanter i byen.

Automatiserte kjøretøy som opererer på høyere hastigheter kunne bedre fremkommeligheten på veier hvis de bidrar til bedre flyt i kjøringen, for eksempel ved mindre bråbremsing, kortere avstander mellom kjøretøy og så videre. Sett ved siden av «høflighetsutfordringen», uventede stopp for uventede hindringer i veien eller problemer med sosial interaksjon i trafikken, er det fremdeles usikkert hva totaleffekten vil bli.

#### **4.3.6 Kan automatiserte kjøretøy bidra til å takle utfordringer for oppnåelse av samfunns mål?**

Om automatisering betyr at lettere kjøretøy kan tas i bruk, vil det takle utfordringer knyttet til tunge kjøretøy som Statens vegvesen har stått overfor i mange år. Tunge kjøretøy truer målene listet i 3.4 og skaper behov for mer robust - og hyppigere vedlikehold av - fysisk infrastruktur (veier, tunneler, bro osv.).

Hvis lettere automatiserte kjøretøy ikke skaper fremkommelighetsutfordringer i gatemiljøer med fotgjengere og syklist, kan de også løse dilemmaet Statens vegvesen har hatt der fremkommelighet for myke trafikanter har gått på bekostning av varelevering. Samarbeid mellom transportøren og Statens vegvesen om bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering kan også stimulere til identifisering av nye løsninger som kan fordele bruk av infrastrukturen og dermed lette «kampen om areal» i byer. Siden det blir enklere å håndheve trafikkreglene med automatiserte kjøretøy, blir bruk av kjøretøy som er uegnet for veiinfrastrukturen (lastebiler parkert i sykkelfelt osv.) også redusert.

Utfordringen med at varelevering i tråd med samfunnets (og logistikkaktørens) mål krever «solidaritet i alle ledd» blir viktigere å takle for å få til varelevering ved bruk av automatiserte kjøretøy.

## 5 Fremtiden for varelevering

I kapittel 4 så vi på ulike typer av automatiserte kjøretøy og konsepter for automatisert varelevering som leverandører og logistikkaktører jobber med. Slik teknologi er ikke nødvendigvis «teknologi for teknologiens skyld», men kan gi et vesentlig bidrag til oppnåelse av flere av målene til logistikkaktører, Statens vegvesen og samfunnet generelt. Organisering av utsendelse og riktig utførelse av kjøreoppgaven blir kritiske aspekter i realiseringen av dette potensielle bidraget.

I dette kapitlet ser vi på visse begrensninger i systemet som de automatiserte kjøretøyene blir brukt i, som blir viktige å ta hensyn til for å forstå hvordan automatisert varelevering blir de kommende år. En viktig rolle for Statens vegvesen kan være å fjerne noen av disse begrensningene for å legge til rette for implementering og bruk av automatiserte kjøretøy som er i tråd med viktige samfunns mål. I dette kapitlet ser vi også på hva denne rollen kan innebære.

### 5.1 Begrensninger på bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering i på kort sikt

I del 4.1.3 illustrerte vi noen hovedkonsepter for bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering. Her ser vi på noen begrensninger for hvordan disse konseptene kan brukes i dagens system, slik at vi kan identifisere noen sannsynlige bruksområder (på offentlige gater og veier). Infrastruktur, regulering og standardisering håndteres i del 5.3.

#### 5.1.1 Teknologi

Selv om teknologi for automatisert kjøring på SAE nivå 5 (jf. 4.1.1) ikke finnes ennå, er det en forutsetning for sikker og smidig autonom kjøring i alle de komplekse situasjonene som et kjøretøy kan møte i en by. Objekter med ukjente fasonger eller uvanlige lys- eller værforhold kan fortsatt skape problemer for sensorteknologien som finnes i dag. Det er også begrensninger knyttet til datahastigheten som trengs for sikker fjernstyring av automatiserte kjøretøy i sanntid. Situasjoner i blandet trafikk som løses med sosial kontakt er fortsatt problematisk. Ifølge noen representanter vi snakket med er også fletting i trafikken en utfordring.

Dette betyr at relativt **enkle og avgrensede bruksområder må finnes** for å benytte automatiserte kjøretøy i varelevering i dag. Vi ser to muligheter for bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering i by på kort sikt, utenom bruk på terminaler eller private områder:

- Infrastruktur tilpasses og standardiseres for å bistå det automatiserte kjøretøyet. For eksempel fysisk separasjon og bruk av ITS, skilt og sensorer i veiinfrastrukturen.
- Kjøretøyene opererer en eller flere faste ruter i et begrenset bruksområde. Et eksempel er et kjøretøy som får tillatelse til å kjøre på en dedikert bane som annen trafikk ikke kan bruke, eller at det læres opp for å kjøre faste ruter på lav hastighet i mer komplekse trafikkerte områder med myke trafikanter.

Det er usannsynlig at offentlige aktører vil betale for det førstnevnte mulighet, uten at de vet at det vil bidra til oppnåelse av samfunns mål.

Smidige, avanserte og integrerte trafikkstyrings-/logistikksystemer kan ha stor effekt ved at det automatiserer transportene og frigjør menneskelige ressurser til serviceoppdrag ute i gatene, der verdiskapingen er størst, men det **vil ta noen år til før den støttende teknologien er moden**, ifølge de vi snakket med. Det finnes ikke etablerte standardiserte løsninger for automatisert lasting, lossing eller lading, eller for kobling til terminalens datasystem, for eksempel. Teknologien og systemer som vil brukes til **fjernstyring** av kjøretøyene **trenger utvikling**.

Vi påpeker også at mange av testene er gjort i begrensede områder, gjerne med noen få kjøretøy. Det er behov for å teste ut automatiserte kjøretøy i konteksten av et fullstendig leveringssystem som kan fungere og skaleres i praksis. Kjøretøyene kommer seg frem ved bruk av allerede kjente teknologier som GPS sensorer og innebygget navigasjon, men stabile nett (5G-6G) blir viktigere.

### 5.1.2 Mennesker trengs i systemet

I begge tilfellene nevnt over vil det være nødvendig at mennesker overvåker kjøretøyene og overtar kjøreoppgaven eller rykker ut til kjøretøyet når det trengs. Det er også **behov for mennesker til å gjennomføre oppgaver som ikke ennå er automatisert**, og som sjåførene gjør eller bidrar til i dag (jf. 4.2.4). Det vil være behov for service knyttet til det autonome kjøretøyet, som rengjøring, vask, vedlikehold og reparasjon. Et team med teknikere vil nok trengs for å følge opp en flåte. Mennesker vil trengs for flåte- og logistikkstyring og kundekontakt.

### 5.1.3 Mottakerne er ikke klare

Hva som skjer med varen når den kommer frem til mottaker og hva som står i avtalen med kunden er viktige elementer når man tenker automatisering av varelevering. Det er at varen kommer frem som betyr noe. Frafall av tjenester innenfor de siste meterne **vil kreve store omorganiseringer hos kunden**, og kan redusere verdien av automatisering.

### 5.1.4 Forretningsmodeller

**Kjøretøyprisen** må reduseres mye for at eksisterende forretningsmodeller fortsatt vil gjøre seg gjeldende. Hvis ikke dette er mulig må nye forretningsmodeller utvikles, for eksempel der transportøren leier ut eller deler en kjøretøyflåte med andre aktører.

### 5.1.5 Aksept og tilpassede systemer

Det må også finnes en **aksept** for autonome kjøretøy, samt **produkter og tjenester som er tilpasset bruk av autonome kjøretøy**. Utviklingen avhenger av hva som skjer i markedet. Hvis det kommer kunder som er interessert kan det gå mye fortere, for eksempel om Oslo kommune hadde det i anbudsprosessen ville det være et stort insentiv.

### 5.1.6 Kompetanse hos logistikkaktøren

En distribusjonsleder i dag kan ha ansvar for omtrent 20 personer, og kompetansekravet er primært at du må være flink med mennesker. Hvis samme distribusjonsleder skal bli ansvarlig for 40 roboter i stedet, er det **behov for en annen kompetanse**. Kanskje holder det heller ikke med en produksjonsleder, men vil kreves et team for å ta vare på en flåte i et område. Med mange endringer i vedlikehold både av software og hardware vil det kreve en annen type kompetanse.

## 5.2 Realiserbare bruksområder

Gitt begrensningene over, ser vi her på realiserbare bruksområder på offentlige veier<sup>11</sup> som kan gi mulige gevinster for logistikkaktører og Statens vegvesen. Med «realiserbar» mener vi et system for

---

<sup>11</sup> På lukkede områder som lager og terminaler testes automatiserte trucker (automated guided vehicles, AGV) og automatiserte lagersystemer som plukker og sorterer varer. Dette fungerer godt og AGV kan i større og større grad forholde seg til komplekse situasjoner i et lukket og kontrollert miljø. Truckene begynner å bli gode til å navigere og finne riktig pall. Denne teknologien er skalerbar, og det jobbes for mer automatisering innenfor lager, både på sorteringssiden og flytting av

varelevering hvor kjøreoppgaven kan gjøres automatisk med minimale endringer til infrastruktur, og at kjøretøyet kan benytte seg av en dedikert infrastruktur. Det nye systemet må gi klare fordeler for både samfunnet og logistikkaktørene når sammenlignet med eksisterende løsninger. Dette er vanskelig å forutse dels fordi forretningsmodeller, regulering, standardisering og skalering kommer til å bestemme hvordan varelevering blir i fremtiden.

### 5.2.1 Levering av mindre varer med fortausroboter

I rutinemessige, enklere leveringssituasjoner i et begrenset område kan mindre pakker bli levert av flere små automatiserte kjøretøy for å gi sjåfører og kunder mer fleksible tidsvinduer, og frigjøre tid til at mennesker kan levere pakker som ikke passer for autonome kjøretøy. En større andel pakker leveres av mindre plasskrevende, tryggere og mer miljøvennlig kjøretøy.

Feltstudien av Postens pilot for autonom varelevering på Aker Brygge bekrefter at autonome kjøretøy allerede i dag i stor grad behersker å kjøre, navigere og samhandle med andre trafikanter. Med hjelp fra en operatør kan kjøretøyene også kommunisere, lokalisere og tilrettelegge for henting og levering av varer.

Fortausroboter er forholdsvis mye utprøvd, spesielt i USA, og det blir viktig å lære fra demonstrasjoner i andre land hvor en flåte er blitt testet når nye konsepter er utviklet i Norge. En-til-en leveranser med små varer som kunden venter på og kan håndtere selv kan fungere, fordi mottaket da er sikret (for eksempel matleveranser i byene). Med tanke på at liggetid i pakkebokser er i gjennomsnitt 35 timer (Caspersen et al., 2023), er det viktig at prosesser som sørger for punktlig henting fra fortausroboter er på plass.

Det bør huskes at autonome kjøretøy tar plass, og det er ikke nødvendigvis gunstig med mange kjøretøy i gågater eller andre steder mange ferdes, autonomt eller ikke og uavhengig av drivstoff. Enkeltleveranser med autonome kjøretøy som oppskaleres vil resultere i kaos dersom alle skal ha sine roboter og sitt system. Regulering og standardisering blir derfor viktig.

Autonome transporter til privatpersoner som ikke venter på varen, for eksempel ved hjelp av autonome pakkeroboter, er vanskelig fordi mottakeren mangler insentiv til å hente varen raskt og det er høy sannsynlighet for at varen blir med roboten noen dager før den blir hentet. En menneskelig sjåfør kan purre på mottaker helt til pakken blir tatt imot, men purring fra et autonomt kjøretøy vil sannsynligvis ikke ha samme effekt på kunden. Denne utfordringen blir vanskeligere med varer som ikke er tidskritiske for mottakeren, eller når mottakeren er opptatt.

En fordel med konseptet er at robotene kan læres opp for å kjøre smidig på utvalgte ruter som fjernoperatøren kan velge, avhengig av for eksempel veisperringer eller trafikkmengde på ulike gater på ulike dager. For logistikkaktørene kan varebilsjåfører spare tid ved å levere til en hub i nærrområder istedenfor å bruke mye tid på levering til / henting fra forretninger.

Selv om kjøretøyene ikke trenger støtte fra ITS eller veisensorer, vil enkle tilpasninger til det fysiske gatemiljøet likevel trengs. I feltstudien så vi at roboten måtte dele en fortausrampe som rullestolbrukere brukte, og kunne derfor komme i veien for dem. Det kan også være behov for å automatisere interaksjoner mellom kjøretøyet og porter eller bommer som sperrer veien, og for å fjerne hindringer (for eksempel plakater) som gjør robotens «naturlige» kjørerute kronglete.

En potensiell fordel for Statens vegvesen med slike konsepter, er at de kan fjerne tyngre, større biler fra gatemiljøet på travle tider av dagen, og forbedre trafikksikkerhet og arealbruk. For å sørge for

---

paller. At f.eks. roboter gikk rett fra sorterings maskin til kjøretøy ville ha vært bra. Lasting fra bulk kan skje automatisk på sikt (5-10år).



optimal trafiksikkerhet, blir standardisering og ekstern menneske-maskin interaksjon viktige (jf. 4.3.4).

## 5.2.2 Rutinemessig transport av varer mellom to terminaler

Det er særlig på enkelte ruter mellom faste punkter (som to huber) at automatiserte kjøretøy er forventet å gi en stor gevinst. Roboter for kjøring på lav- eller høyhastighetsvei (jf. 4.1.2) kan altså levere på enklere veistrekninger med høy standard og stabile kjøreforhold, i situasjoner hvor store mengder av varer leveres rutinemessig fra en terminal til et bynært og bemannet omlastningspunkt, distribusjonssenter eller byhub (jf. 5.3.2). Autonome kjøretøy er også egnet på enkle strekninger mellom lager og terminal, noe som trolig også kan gjennomføres uten store omorganiseringer etter som det er mennesker som jobber i logistikk i begge ender. En representant vi snakket med mente at man kan erstatte kjøretøy og sjåfør nokså enkelt på denne måten hvis det er politisk vilje for dette. Godset som kommer inn autonomt via en havn kan også transporteres videre inn til byen på lignende vis. Levering fra lager til et bemannet mottak på kjøpesenter er også aktuelt.

Autonome kjøretøy kan også gi fleksible hentepunktløsninger til privatkunder hvis de kan lastes på terminal og selv kjøre ut til borettslag eller liknende for henting av varer, eventuelt i kombinasjon med en sjåfør som kan møte opp på et avtalt oppmøtested. Lignende konsepter kan tenkes for en mobil hub som øke produktivitet ved å kjøre varer ut for å «mate» ansatte som leverer i et lokalt område eller overføre minikonteinere til lastesyklister.

Alle disse konseptene har til felles at de innebærer rutinemessige frem-og-tilbake transport av store varemengder langs enklere veistrekninger.

## 5.2.3 Annet

### 5.2.3.1 Følgeroboter for å øke kapasiteten av menneske som leverer

På grunn av høye sjåførkostnader i sisteledds-distribusjon av varer vil logistikkaktører bruke automatiserte kjøretøy i løsninger som øker sjåførens effektivitet og produktivitet. Det er en gevinst i at en person kan følge opp til ti kjøretøy istedenfor at hver person manøvrerer ett kjøretøy. Derfor er følgeroboter også en spennende utvikling, spesielt gitt de begrensningene vi har gjennomgått i 5.1.1 og 5.1.2. Menneskelige sjåfører av mindre el-kjøretøy (lastesykkel, Paxster eller lignende) kan kjøre uten utslipp i medium hastighet og får økt kapasitet ved å samkjøre flere varer. En fordel over en el-varebil er den ekstra fleksibiliteten man får ved å kunne raskt koble fra og på moduler.

Denne type følgeroboter er også en måte å teste kommende automatisert teknologi på. Buldeo Rai et al. (2022) mener at den naturlige utviklingen for autonome kjøretøy i byer i fremtiden er å *begynne* med følgeroboter, og så deretter utvide til roboter på fortauet og på veien. *Ducktrain* er en kjøretøyprodusent som ser på bruk av følgeroboter som en måte å introdusere teknologien gradvis på, samtidig med at regulatoriske krav oppfylles (Schomakers et al. 2022). I første omgang skal følgerobotene være fysisk tilkoblet en sykkelhenger som avlaster syklisten. Etter hvert skal den klare å kjøre i en «platoon», med syklisten som ledende kjøretøy, og til sist skal den kjøre helt autonomt.

For Statens vegvesen må fordelene for samfunnet vurderes, spesielt med tanke på trafiksikkerhet som er en ukjent faktor.

### 5.2.3.2 Luftdroner

Selv om droner var utenfor prosjektets omfang, har flere representanter fra offentlig sektor kommentert at droner er en kommende teknologi i varelevering. Det har vært utvikling i løpet av prosjektperioden som gjør at vi tror droner kan påvirke levering i byer. Flere transportører tester droner, blant annet til transport av medisinsk utstyr og blodprøver. I tillegg kan droner i visse tilfeller være godt egnet på strekninger der en bil må kjøre lange omveier, for eksempel der levering

av verdifulle gods haster og godset må transporteres over vann eller områder med lange, svingete veier. *Aviant* har begynt å levere varer ut fra byen over vann til kunder som bor i bygder og mindre tettsteder i Norge. Med droner kan man potensielt spare både penger, kilometer og mye tid.

Noe som hemmer utviklingen er et begrenset kundegrunnlag, blant annet fordi regulering er veldig streng, og, som med andre automatiserte kjøretøy for varelevering, er det fortsatt behov for stor grad av manuell innblanding. Droner kunne fjerne en lastebil fra bybildet, spare tid og forbedre fremkommeligheten for varene, men det er usikkert hvordan reguleringen blir for flyvninger over byer. Det er færre teknologiske barrierer for luftdroner enn for høyt automatiserte bakkegående roboter, og droner kan være egnet i utvalgte korridorer.

## 5.3 Statens vegvesens rolle

Her ser vi på hvilke roller Statens vegvesen og andre veieiere kan spille i utvikling av automatiserte kjøretøy i varelevering.

### 5.3.1 Tydeliggjøre samfunnsverdien

Et bevisst forhold til hvorfor man vil bruke automatiserte kjøretøy i varelevering er viktig for at varelevering utvikles i en retning som samfunnet ønsker seg. Dette er også bransjen enig i, noe som kommer til uttrykk i utsagn som «Teknologi er kult, men man skal ikke la seg blende av det, det må ha en nytteverdi som overstiger kostnader ved implementering», eller «Som alle optimaliserings-spørsmål, hva optimaliserer man på? Er målet å erstatte alle sjåførere er ikke det som skjer utenfor like viktig. Men dersom målet er reduserte total kostnader eller økt nytte, er det ikke sikkert automatiserte kjøretøy er målet.» En viktig forskjell mellom privat og offentlig sektor er at næringslivet er interessert i bruk av automatiserte kjøretøy for å gjennomføre *varelevering* i tråd med sine mål for effektivitet, klima og miljø, arbeidsforhold og sikkerhet. Offentlige aktører er interessert i hvordan bruk av automatiserte kjøretøy vil påvirke et helt bysamfunn og alle trafikanter som ferdes der. Det er ikke klart for oss om offentlig sektor ser på nyttetraffikk som et hinder for fremkommeligheten eller fremkommeligheten også gjelder for nyttetraffikk.

Flere fra offentlig sektor har påpekt at det er viktig å være tydelig på hvilket problem man ønsker at autonome kjøretøy skal løse. Hvis problemet er sjåførmangel, er autonomi den beste løsningen for samfunnet eller kan vi finne flere sjåførere gjennom politiske løsninger? Hvis autonomi er brukt til hjemlevering for å takle utfordringen om at folk ikke gidder gå i butikken selv, blir det gunstig for samfunnet?

Det er også viktig at offentlige aktører har fokus på grunnleggende utfordringer for varelevering i by og hvordan de kan best løses med teknologiske eller andre verktøy. En deltaker kommenterte for eksempel at opphopning av biler gjør at vi trenger ruteplanlegging og datadeling—ikke nye kjøretøy. Det er viktig at Statens vegvesen, sammen med andre offentlige aktører, betrakter slike problemstillinger når de vurderer hvordan de skal støtte teknologien i fremtiden.

Det blir viktig å evaluere hvor realiserbare nye teknologiske løsninger er. Det er ikke helt tydelig hvordan automatisert varelevering skal gjennomføres utover selve transporten – spesielt når det gjelder lasting og lossing. Vi ser likevel at innovasjoner kan komme raskt på markedet og endre bybildet (som for eksempel el-sparkesykler), så det er viktig at offentlige aktører er klare for eventuelle raske endringer i hvordan varelevering gjøres.

### 5.3.2 Infrastruktur og kart

Infrastrukturen må kunne håndtere automatiserte kjøretøy. Kjøretøyene vil nok kjøre forholdsvis sakte og kan føre til uforutsigbart samspill med andre trafikanter i blandete trafikk. En løsning kan være dedikerte veibaner eller fortauer som kan brukes uten å være til hinder for annen trafikk.

### 5.3.2.1 Endringer for å assistere kjøring med automatiserte kjøretøy

Med automatiseringsteknologi på nivå 4 er det viktig at kjøretøyene brukes i begrensede områder (eventuelt ved bruk av geofencing) hvor man vet at de fungerer sikkert. Alternativt kan de operere i større områder med tilpasset og standardisert infrastruktur: jo mer infrastrukturen kan modifiseres og tilpasses, jo større blir bruksområdet for automatiserte kjøretøyer. For at autonome kjøretøy skal kunne tas i bruk overalt må veinettet tilrettelegges med bedre skilting, merking og oppdaterte kart som lar autonome kjøretøy navigere selv. Det er derfor naturlig å tenke at produsentene og brukerne av automatiserte kjøretøy ønsker seg endringer i den fysiske og digitale infrastrukturen. Samtidig mener offentlige aktører at ny teknologi må tilpasse seg eksisterende infrastruktur, at det blir dyrere og vanskeligere å betale for nye veier enn å tilpasse kjøretøyene til det systemet vi har. Dette er i tråd med Statens vegvesens toppmål om «mer for penger».

En mulig løsning på dette dilemmaet er at **offentlige og private aktører samarbeider for å identifisere hvordan infrastrukturen kan modifiseres på enkle og kostnadseffektive måter**, for å legge til rette for implementering av automatiserte kjøretøy i varelevering der dette er ønskelig. Det kan for eksempel være at et hinder flyttes eller enkle sensorer installeres i en tunnel. For Statens vegvesen blir det viktig å ta en helhetlig tilnærming til slik modifisering, og betrakte behovene til alle typer automatiserte kjøretøy (private biler, passasjertransport, varetransport) samtidig. Det er viktig at modifikasjoner virker med alle typer av kjøretøy. Et relatert spørsmål er hvordan automatiserte kjøretøy for varelevering vil passe inn med utvikling av ITS-systemer og smarte byer.

### 5.3.2.2 Kart

Fremover blir **kartdata** viktig, og her må en legge inn begrensinger på hvilke områder de ulike kjøretøyene skal ha tilgang til: definere korridoren og hvor roboten ikke kan kjøre selv om det er en hindring i veien (for eksempel unngå at roboten kjører i bussfeltet dersom tildelt korridor er blokkert). Det blir viktig med et kart som viser hvor ulike kjøretøy kan ferdes. Flere aktører fra offentlig sektor mener at kartdata må bli tilgjengelige uavhengig av private aktører (som Google eller TomTom) og offentlig eid, for eksempel av kommuner eller Statens vegvesen. Dette vil kreve regulering.

### 5.3.2.3 Endringer for å imøtekomme bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering

Et viktig spørsmål er hvordan varelevering med automatiserte kjøretøy kan påvirke *organisering* av sisteledslogistikk, hvor distribusjonssentre og mikrohubber plasseres og bruk av ruteoptimalisering og vei- og gatenettet. Endringer vi allerede ser i form av distribusjonssentre og pakkeskap i by, innført for å bane veien for lettere elektriske kjøretøy i varelevering og effektivisere levering av netthandelvarer, baner også veien for bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering.

Bynære omlastingspunkt som Fornebu HUB, som drives av Bytjenester med støtte fra Bærum kommune, eller miniterminalene til Posten Bring, Schenker og DHL Express på Filipstad, endrer transportmiddelbruken mellom store terminaler (som for eksempel på Alnabru) og byområder. Et sentralt plassert omlastingspunkt gjør det mulig å gjennomføre transporten mellom terminal og omlastingspunkt med store lastebiler og transporten fra omlastingspunkt til sluttkunde med små kjøretøy, fremfor at mange varebiler eller små lastebiler kjører direkte fra terminal til sluttkunde. Dette reduserer tiden det tar å kjøre mellom terminal og byhub, men øker tiden som kjøres i sentrum. Det blir derfor viktig at kjøringen i sentrumsområder gjennomføres med så miljøvennlige og trafiksikre kjøretøy som mulig. Bynære omlastingspunkt forbedrer mulighetene for å teste nye typer kjøretøy, blant annet fordi det reduserer distansen mellom hub og mottaker.

Offentlig sektor understreker at hubene muliggjør samlast og mer effektive ruter ved at en kan samle varer som skal til samme mottaker og/eller område, men transporteres via ulike aktører. Huber kan også bidra til fleksibilitet i når og hvor man vil motta leveranser som igjen kan bidra til økt service for kunden. Offentlige aktører mener også at det er nødvendig at transportørene deler data for å sikre

overordnet effektiv bylogistikk. Private aktører er enige i at tettheten er en fordel ved at det forbedrer effektiviteten og lønnsomheten: Jo tettere mellom stopp og leveranser, jo mer effektiv blir logistikken og man kan komme nærmere på kunden med sluttspredningspunktet. Samtidig understreker de at hver operatør må få styre sine egne transportere og samarbeide når det lønner seg.

Offentlige aktører ser behov for å videre etablering av en felles infrastruktur, felles terminaler eller huber, og et felles og åpent nettverk av hentepunkter for varelevering. Dette innebærer å sette av areal i kommuneplanen, men også å påvirke utbyggere til å håndtere varemottak på egen grunn, ikke på offentlig gateareal.

Private aktører er enige i at det kan være fornuftig å inkludere logistikk i byplanlegging og sette av arealer til dette, men understreker igjen at aktørene og markedet selv må få styre hvordan de løser bruken. Det trekkes paralleller til flyplasser, havner og bussterminaler, hvor flere operatører har tilgang til felles infrastruktur samtidig som de opererer egne tjenester. Særlig Posten påpeker at distribusjonspunkter nærmere mottaker er en kjent metode: de har hatt små distribusjonspunkter (satellitter) for brevstrømmer i lang tid, hvor formålet var å komme så nærme kunden som mulig og redusere bruken av bil til fordel for andre mer miljøvennlig kjøretøy som er tilpasset områdene (blant annet gange). Posten nevnte også ideen om en bussrute for varelevering basert på faste ruter og stopp.

Disse konseptene henger godt sammen med autonome vareleveranser med et kjøretøy som vet hvor det skal, har en fast rute med faste «holdeplasser» som er likt designet. Offentlig sektor kan bidra til standardisering av fremtidens «busslommer» for varetransporten.

I tillegg må mottakersiden tilrettelegges for at autonome kjøretøy skal kunne komme inn. Ett eksempel: Norges største senter for varelevering har for få vareleveringsmuligheter som krever at de som leverer varer kan håndtere uforutsette situasjoner som kø, opptatte lasteramper og liknende. Tilrettelegging for å forbedre situasjonen koster penger, penger som ingen i utgangspunktet er villige til å bruke på dette. Hvis man ønsker å få varene levert autonomt må man utvikle et felles vareleveringsområde som er tilrettelagt for at en bil kan kjøre inn og kvitte seg med godset sitt. Det er teknologisk mulig, men det spørs om det er en vilje der ettersom mye av verdiene for kunder ligger i håndtering av varene, ikke selve transporten. For leveringer til sluttkunde, kan man overkomme utfordringer ved at man legger leveranser til første etasje og tilrettelegger systemer for «roll in-roll out». Dette er gitt at infrastrukturen og teknologien fungerer. Opphenting av pakker kan også forenkles ved lagre eller oppbevaringslommer som muliggjør at autonome kjøretøy betjenes fleksibelt av mottaker.

### 5.3.3 Fjernovervåking og -styring

Det er relativt lite forståelse blant både fag- og bransjeeksperter for hvordan automatiserte kjøretøy vil fjernovervåkes og styres i praksis. Statens vegvesen har bred og lang erfaring med overvåking av trafikk gjennom sine Vegtrafikksentraler. Et samarbeid kan være gunstig for aktører som ønsker å etablere flåteovervåking og fjernstyring, spesielt for konsepter som beskrevet i 5.2.2. Det kan være fordeler for datadeling med veieieren og kjøretøyoperatøren. Det er ikke klart hvem skal drifte sentere for overvåking av autonome flåter (transportøren, produsent, tredje part). Statens vegvesen kan spille en rolle i godkjenning av fasiliteter for overvåking (godkjenning av brukergrensesnitt, egenskaper som gjør fjernkontroll trygg for andre trafikanter, er det ok om de plasseres i andre land?) og sertifisering av fjernoperatører.

### 5.3.4 Regulering og standardisering

Oppskalert bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering vil kreve standardisering, et system som regulerer hvor kjøretøyene kan ferdes, og et lovverk som avklarer hvordan ulike trafikanter skal forholde seg til kjøretøyene.

### 5.3.4.1 Regulering

Fra vår analyse av systemer for varelevering i by (Vedlegg 6), ser vi at regelverket er viktig fordi det har en direkte påvirkning på:

- Kjøretøyets sikkerhetsegenskaper, utseende og kommunisering med andre trafikanter (ekstern menneske-maskin interaksjon).
- Hvilke situasjoner som vil håndteres på en sikker måte av kjøretøyet, for eksempel hvilke farer sensorteknologien vil oppdage i trafikken, og sannsynlighet for en kollisjon.
- Fysiske drivkrefter som kjøretøyet vil medføre i en kollisjon
- Hvor automatiserte kjøretøy kan ferdes. Klassifisering av kjøretøy vil påvirke hvilke deler av infrastrukturen kjøretøyene er godkjent for. Det vil ha konsekvenser for andre bybrukere (støy, fremkommelighet), logistikkatkørene (fremkommelighet, kjørehastighet, ladeinfrastrukturen som er tilgjengelige, tilgang til kunder, parkering og terminaler), trafiksikkerhet og effektiviteten av ruter som er valgt.
- Typer av varer kjøretøyet er godkjent for (farlig gods) og vekt og stabilitet av last
- Lovmessig ansvar i en ulykke, ansvar for last, kjøretøyets atferd osv.

Selv om håndheving av trafikkregler kan være enklere med automatiserte kjøretøy, blir det fortsatt behov for å kontrollere kjøretøyene for å sjekke vedlikehold av sensorteknologi, at lasten er sikker osv. Dette vil kreve at Statens vegvesen eller politiet utvikler nye typer av prosedyrer. Uten en sjåfør til stede, vil kontrolleren fortsatt kreve tilgang til lasten eller å kommunisere med en menneskelig operatør for å få informasjon om kjøretøyets historie.

Som vi har diskutert, kan det bli mer fokus på godkjenning av kjøretøy knyttet til bruksområde enn typegodkjenning av kjøretøyet. Det er også viktig å tenke at regulering av hele flåtekonsepter kan bli aktuelt, spesielt med hensyn til fjernstyring. Før dette skjer må vi forstå mer om utfordringer for automatiserte kjøretøy som ruller ut i stor skala - en test av et par kjøretøy her og der betyr ikke at systemer for varelevering med en flåte av automatiserte kjøretøy fungerer.

Finland skal definere autonome kjøretøy i en egen kategori i mai 2023. Slike regulatoriske endringer vil kunne gi mer forutsigbarhet for alle interessenter.

### 5.3.4.2 Regelverk og innovasjon

På mange vis er nasjonale lover og regler en barriere for innovasjon ved at testing av nye kjøretøy, herunder også droner, er strengt regulert. Det er krevende at den teknologiske utviklingen går fort samtidig som det tar tid å endre lovverket. Det er utfordrende dersom det finnes et smutthull i lovverket som åpner for uregulert drift med negative konsekvenser for samfunnet rundt, slik vi så med el-sparkesykler. Også offentlige anbudsregler kan hemme eller fremme innovative løsninger innen varelevering og bylogistikk, avhengig av hvordan disse er utformet og hvilke krav de stiller til leverandører. Det er per i dag gode muligheter for å bruke offentlige anskaffelser til å fremme innovasjon og god bylogistikk, for eksempel ved å stille krav til bruk av miljøvennlige kjøretøy eller annen type ny teknologi. Godkjenning for piloter kan være tidkrevende. Testing er viktig og må gjøres i et offentlig-privat samarbeid, med nødvendige tillatelser og kommunikasjon med nødvendige aktører, som politi.

### 5.3.4.3 Standardisering

Standardisering er viktig for at automatiserte kjøretøy har tilgang til infrastrukturen og områder de skal levere til, for sikkerhet, for at kommuner og veieiere kan styre og overvåke trafikken, for kjøretøyets forutsigbare atferd overfor andre trafikanter, og for at ulike logistikkaktører kan samordne med hverandre og integrere ulike deler av leveringskjeden. Standardisering av omgivelsene og miljøet automatiserte kjøretøy skal operere i vil være avgjørende for god effektivitet.

Kommuner og andre veieiere trenger også standardisert veiledning for eventuell planlegging av infrastruktur (fortauer, kryss, veibaner, sykkelstier, skilt) for å imøtekomme automatiserte kjøretøy. Dette er spesielt viktig gitt at planlegging og endring av veiinfrastruktur er en langsiktig prosess.

Arbeid på en internasjonale standard, slik som ISO/DTR 23049 «*Ground-based automated mobility: Loading and unloading at the kerbside and footway*», kan være utgangspunktet for konsekvent styring på tvers av kommuner, fylker og ulike veieiere. Standarder kan ikke utvikles hvis ikke samfunnets intensjoner er tydelige, noe som avhenger av politiske prosesser.

Ut fra intervjuene med fageksperter og logistikkaktører er noen aspekter som bør standardiseres er;

- Klassifisering av kjøretøy – dimensjoner, egenskaper, teknologi, lokalisering
- Veiinfrastruktur, varemottak, lastingssoner («interoperabilitet»)
- Atferd i trafikken – standardiserte handlingsmåter overfor andre trafikanter og teknologi, avstand mellom robot og andre trafikanter, kommunisering med alle typer av trafikanter; veksling av data til og fra ITS (for sikker kryssing for eksempel)
- *Redundancies* (for eksempel kjøretøy må kunne bruke data fra to kilder i tilfelle en skulle svikte)
- Styring – personvern, datasystemer
- Koordinering av logistikk – lasting, lossing, venting samordnet med andre kjøretøy og prosesser
- Operatørkrav, kontroll

Noen standarder vil kunne gjelde på tvers av og kjøretøy for kollektiv passasjertransport og kjøretøy privat passasjer- eller godstransport.

En fordel med autonome kjøretøy er at det kan legge press på universell utforming: det kan ikke være fortauskanter som kjøretøy ikke klarer å komme seg over, brøytekanter eller nedsnødd trasé, osv.

Standardisering av lasting, lossing og varehenting er mer nyansert. Det er mange ting hos kundene som er fragmentert, og det er vanskelig å komme med standardiserte løsninger som passer inn. Mange faktorer er ulike; takhøyde, vinkler, dørstokker, automatisk åpning eller lukking osv. Det er derfor vanskelig å standardisere kjøretøy, men det er noe man må gjøre for å få stordriftsfordeler av automatiserte kjøretøy.

### 5.3.5 Oversiktlig og målbar utvikling av varelevering i by

For at varelevering i by skal bidra til oppnåelse av samfunns mål optimalt, er det viktig å måle de samlede effektene av varelevering på kritiske målparametere som energibruk, utslipp, arealbruk eller antall skadde eller dødsfall (jf. også Vedlegg 6). Dette har vært krevende hittil, dels fordi varelevering i by er fragmentert og det er lite datadeling mellom offentlige og private aktører.

Innføring av automatiserte kjøretøy i varelevering, sammen med en trend mot en felles infrastruktur for bruk i bylogistikk, kan gjøre det enklere å dele data. De som bruker kjøretøyene vil ha behov for offentlige data (om veitilstand, trafikkøer, veiarbeid osv.) for å optimalisere rutevalg og fremkommelighet, og det kan derfor hende at private aktører blir mer åpne for datadeling. Vi har sett at automatiserte kjøretøy vil forbedre logistikkaktørens organisering av utsendelser slik at mål kan oppnås mer effektivt. Men det kan også tenkes at dette er noe som kan gjøres mest effektivt i samarbeid med kommunen og eventuelt med andre logistikkaktører, og at dette også kan bane veien for mer datadeling i bylogistikk.

Åpen datadeling blir nødvendig for å få varelevering i by som er mest mulig gunstig for samfunnet generelt. Det vil gjøre det mulig for kommuner å måle og forstå hvilke former for varelevering er mest effektive i forhold til areal- eller energibruk slik at tiltak kan iverksettes for å stimulere for dem (støttende fysisk/digital infrastruktur, tillatelse osv.). Eksempler på interessante data er plassering av

kjøretøyet over tid, kjøretøyvekt og -dimensjoner, type energi brukt, støy, type og antall varer levert, tid brukt per leveranse eller bråbremsing (som kan indikere problematiske områder).

Sammenligning av varelevering med automatiserte kontra tradisjonelle kjøretøy på kritiske målparametere blir viktig for å forstå samfunnseffekter.

## 6 Hva trenger vi å vite om automatisert varelevering fremover?

Automatiserte kjøretøy vil ta lengre tid å introdusere for varelevering i by sammenlignet med kollektivtransport. Kollektivtransport har ofte faste og mer rutinemessige ruter som er mer egnet til bruk av teknologi for automatisert kjøring. I motsetning er godstransport relativt uregelmessig, og det er ofte behov for kortsiktige ruteendringer som er mer utfordrende for automatiserte kjøretøy.

Det er interessant at både privat og offentlig sektor anser fremkommelighet som en stor utfordring for måloppfyllelse. Transportørene mener utfordringen er at rutene er skiltet slik at de må kjøre unødvendig langt og mye for å få varene frem. På den annen side ser offentlig sektor at nyttetransport hindrer fremkommeligheten til andre trafikanter, på grunn av store kjøretøy som er feilparkert eller ikke passer inn i bybildet. På lignende vis vurderer offentlig sektor at kjøretøyene som brukes i varelevering skaper problemer som støy og utslipp, mens private aktører oppfatter at godskjøretøyene er nedprioritert og ikke blir tilrettelagt for i byutviklingen. Aktørene har forskjellige oppfattelser av nyttetransport og hva automatisering kan bidra til. Mens næringsaktørene ser at de kan redusere antall sjåførere som trengs i varelevering og skape nye typer av jobber, ser de offentlig aktørene at de kan få økt etterlevelse av regelverk og nye typer bytilpassede kjøretøy.

Det gjenstår mange spørsmål som må svares på før vi vet i hvilken grad bruk av automatiserte kjøretøy i varelevering vil oppfylle målene til logistikkaktører (jf. 4.2) og samfunns mål (jf. 4.3). Vi har sett flere kunnskapshull som må fylles før vi vet hvordan varelevering i by med bruk av automatiserte kjøretøy blir de kommende år. Logistikkaktører har behov for å forstå hva det egentlig betyr å fjerne mennesker fra leveringssystemer, spesielt når det gjelder kundekontakt og -service. Nye roller for eksisterende og nye ansatte må utredes og kompetanse i drift og vedlikehold av kjøretøyteknologi og datasystemer må på plass. Samarbeid med offentlige aktører om hvordan kapasiteten på veinettverket best kan utnyttes blir viktig før logistikkaktører satser på automatisering for fullt. Produkter og tjenester som passer sammen med automatisert varelevering må også på plass for å bygge aksept for den nye teknologien hos konsumenten. Utviklingen av logistikksystemer som utnytter potensialet automatiserte kjøretøy gir for sømløs varelevering blir også viktig fremover.

For Statens vegvesen og andre offentlige aktører blir det viktig å ta stilling til hvorvidt ulike bruksområder for automatiserte kjøretøy i varelevering kan være en gunstig utvikling for oppfyllelse av sine toppmål. Refleksjoner om rollene som Statens vegvesen og andre veieiere kan spille kan være et godt utgangspunkt for å identifisere forskningsbehov fremover. Pilotering i samarbeid med private aktører, kommuner og fylkeskommuner blir uansett en viktig metode for å få økt innsikt. Det er behov for å teste hele kjøretøyflåter eller vareleveringssystemer istedenfor isolerte kjøretøy.

Systemanalysen som denne rapporten bygger på tyder også på at det vi trenger mer kunnskap for å forstå hvordan automatiserte kjøretøy vil endre måloppnåelse i logistikk. Følgende er noen av spørsmålene som kommer ut av systemanalysen som vises i Vedlegg 6.

- Hvordan vil kjøretøy koordineres som del av en flåte?
- Hvor mange kjøretøy kan en menneskelig operatør overvåke og/eller styre på en gang?
- Hvordan blir arealbruk—hvor stort fotavtrykk vil nye kjøretøyflåter ha, og hvor lang tid vil de bruke på varelevering de i forhold til kjøretøyflåtene som brukes i dag?
- Sortering, lasting og lossing: Hvordan vil dette foregå? Blir lasting og lossing kundevennlig og/eller automatisert?
- Hvilken betydning vil tillatelse for bruk av ulike typer av automatiserte kjøretøy på ulike deler av vei- og gatenettet ha for varelevering og for andre bybrukere?



- Vil varelevering med automatiserte kjøretøy gjøre varelevering mer eller mindre synlig i bybildet enn i dag og hva har det å si?
- Kjøring: Hvilke krav vil det bli til digital infrastruktur?

## Referanser

\*=Artikler fra litteraturgjennomgang (Vedlegg 1).

- \*Allen, J., Piecyk, M., Piotrowska, M., McLeod, F., Cherrett, T., Ghali, K., ... & Austwick, M. (2018). Understanding the impact of e-commerce on last-mile light goods vehicle activity in urban areas: The case of London. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 61, 325-338.
- \*Agnusdei, G. P., Gnoni, M. G., Sgarbossa, F., & Govindann, K. (2022). Challenges and perspectives of the Industry 4.0 technologies within the last-mile and first-mile reverse logistics: A systematic literature review. *Research in Transportation Business & Management*, 100896.
- \*Alfandari, L., Ljubić, I., & da Silva, M. D. M. (2022). A tailored Benders decomposition approach for last-mile delivery with autonomous robots. *European Journal of Operational Research*, 299(2), 510-525.
- \*Amiri, A. M., Ferguson, M. R., & Razavi, S. (2022). Adoption patterns of autonomous technologies in Logistics: evidence for Niagara Region. *Transportation Letters*, 14(7), 685-696.
- \*Bachofner, M., Lemardelé, C., Estrada, M., & Pagès, L. (2022). City logistics: Challenges and opportunities for technology providers. *Journal of Urban Mobility*, 2, 100020.
- \*Boysen, N., Fedtke, S., & Schwerdfeger, S. (2021). Last-mile delivery concepts: a survey from an operational research perspective. *Or Spectrum*, 43(1), 1-58.
- Caspersen, E., Jordbakke, G.N. & Knapskog, M. (2023). Pakkeskapets uforløste potensial – Erfaringer fra Drammen, Asker, Bærum og Oslo. TØI rapport 1943/2023.
- \*Chandra, A., Pani, A., Sahu, P. K., Majumdar, B. B., & Sharma, S. (2022). Identifying large freight traffic generators and investigating the impacts on travel pattern: A decision tree approach for last-mile delivery management. *Research in Transportation Business & Management*, 43, 100695.
- \*Dablanc, L., Heitz, A., Rai, H. B., & Diziain, D. (2022). Response to COVID-19 lockdowns from urban freight stakeholders: An analysis from three surveys in 2020 in France, and policy implications. *Transport Policy*, 122, 85-94.
- \*Fujitani, Y., Yamauchi, T., Miyashita, Y., & Sugawara, T. (2022). Deadlock-Free Method for Multi-Agent Pickup and Delivery Problem Using Priority Inheritance with Temporary Priority. arXiv preprint arXiv:2205.12504.
- \*Garus, A., Alonso, B., Raposo, M. A., Grosso, M., Krause, J., Mourtzouchou, A., & Ciuffo, B. (2022). Last-mile delivery by automated droids. Sustainability assessment on a real-world case study. *Sustainable Cities and Society*, 79, 103728.
- Garsten, E. (2022, October 5). Gatik Goes Driverless In Canada For Grocery Giant Loblaws. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/edgarsten/2022/10/05/gatik-goes-driverless-in-canada-for-grocery-giant-loblaws/?sh=218716695f51>
- \*Heimfarth, A., Ostermeier, M., & Hübner, A. (2022). A mixed truck and robot delivery approach for the daily supply of customers. *European Journal of Operational Research*, 303(1) 401-421. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.02.028>
- Holland-Letz, D., Kässer, M., Kloss, B., & Müller, T. (2021, April 14). Mobility's future: An investment reality check. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/mobilitys-future-an-investment-reality-check>

ISO draft [\(1\) \(PDF\) Making Room for Robots: A Draft ISO Technical Standard for Ground-based automated mobility: Loading and Unloading at the Kerbside and Footway \(researchgate.net\)](#)

- \*Jahanshahi, H., Bozanta, A., Cevik, M., Kavuk, E. M., Tosun, A., Sonuc, S. B., ... & Başar, A. (2022). A deep reinforcement learning approach for the meal delivery problem. *Knowledge-Based Systems*, 243, 108489.
- \*Jamkhaneh, H. B., Shahin, R., & Tortorella, G. L. (2022). Analysis of Logistics 4.0 service quality and its sustainability enabler scenarios in emerging economy. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 4, 100053.
- \*Kahr, M. (2022). Determining locations and layouts for parcel lockers to support supply chain viability at the last mile. *Omega* 113, 102721. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2022.102721>
- \*Kalatian, A., & Farooq, B. (2022). A context-aware pedestrian trajectory prediction framework for automated vehicles. *Transportation research part C: emerging technologies*, 134, 103453.
- Klassekampen (2022). *Klassekampen Gransker Transportbransjen*. Klassekampen. <https://klassekampen.no/samling/fri-frakt> accessed 29.11.22
- \*Kloster, K., Moeini, M., Vigo, D., & Wendt, O. (2022). The multiple traveling salesman problem in presence of drone-and robot-supported packet stations. *European Journal of Operational Research*, 305, 630.
- Lienert, P. (2022). *Analysis: Ford, VW pop the automated-vehicle bubble with Argo AI exit*. Reuters. <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/ford-vw-pop-automated-vehicle-bubble-with-argo-ai-exit-2022-10-26/> accessed 29.11.22
- \*Lee, S. Y., Han, S. R., & Song, B. D. (2022). Simultaneous cooperation of Refrigerated Ground Vehicle (RGV) and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for rapid delivery with perishable food. *Applied Mathematical Modelling*, 106, 844-866.
- Ludt, Ø. (2020, October 15). Små autonome skritt. *Budstikka*. <https://www.budstikka.no/sma-autonome-skritt/f/5-55-1270965>
- \*Li, D., Huang, Y., & Qian, L. (2022). Potential adoption of robotaxi service: The roles of perceived benefits to multiple stakeholders and environmental awareness. *Transport Policy*, 126, 120-135.
- \*Liu, D., Yang, H., Mao, X., Antonoglou, V., & Kaisar, E. I. (2022). New Mobility-Assist E-Grocery Delivery Network: a Load-Dependent Two-Echelon Vehicle Routing Problem With Mixed Vehicles. *Transportation Research Record*, 03611981221099277.
- \*Mahmoud, A., Chouaki, T., Hörl, S., & Puchinger, J. (2022). Extending JSprit to solve electric vehicle routing problems with recharging. *Procedia Computer Science*, 201, 289-295.
- \*Nadizadeh, A., Sabzevari Zadeh, A., & Bashiri, M. (2022). Line-haul feeder location-routing problem: mathematical model and heuristic algorithm. *Transportmetrica A: Transport Science*, 1-38.
- \*Najy, W., Archetti, C., & Diabat, A. (2022). Collaborative truck-and-drone delivery for inventory-routing problems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 103791.
- NOU 2020-2021:20 (2021). *Nasjonal transportplan 2022-2023*. Samferdselsdepartementet. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-20-20202021/id2839503/?ch=1>
- \*Othman, K. (2022). Exploring the implications of autonomous vehicles: A comprehensive review. *Innovative Infrastructure Solutions*, 7(2), 1-32.

Posten Norge 2021

Hokholt Wiik, Anette. *Pakkeboks—Bærekraftig distribusjon av pakker*. Statens vegvesen. 9. Desember. [https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/fokusomrader/forskning-innovasjon-og-utvikling/bylogistikk/06-barekraftig-distribusjon-av-pakker\\_anette-hokholt-wiik-posten-norge.pdf](https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/fokusomrader/forskning-innovasjon-og-utvikling/bylogistikk/06-barekraftig-distribusjon-av-pakker_anette-hokholt-wiik-posten-norge.pdf)

- \*Peppel, M., Ringbeck, J., & Spinler, S. (2022). How will last-mile delivery be shaped in 2040? A Delphi-based scenario study. *Technological Forecasting and Social Change*, 177, 121493.
- \*Pham, Q. D., Nguyen, T. H., & Bui, Q. T. (2022). Modeling and solving a multi-trip multi-distribution center vehicle routing problem with lower-bound capacity constraints. *Computers & Industrial Engineering*, 172, 108597.
- \*Qi, R., Li, J. Q., Wang, J., Jin, H., & Han, Y. Y. (2022). QMOEA: A Q-learning-based multiobjective evolutionary algorithm for solving time-dependent green vehicle routing problems with time windows. *Information Sciences*, 608, 178-201.
- Ranieri, L., Digiesi, S., Silvestri, B., Roccotelli, M. (2018). A review of last mile logistics innovations in an externalities cost reduction vision. *Sustainability*, 10, 782.
- \*Rodrigues, T. A., Patrikar, J., Oliveira, N. L., Matthews, H. S., Scherer, S., & Samaras, C. (2022). Drone flight data reveal energy and greenhouse gas emissions savings for very small package delivery. *Patterns*, 3(8), 100569.
- \*Saadatnejad, S., Bahari, M., Khorsandi, P., Saneian, M., Moosavi-Dezfooli, S. M., & Alahi, A. (2022). Are socially-aware trajectory prediction models really socially-aware?. *Transportation research part C: emerging technologies*, 141, 103705.
- \*Schomakers, E. M., Klatte, M., Lotz, V., Biermann, H., Kober, F., & Ziefle, M. (2022). Analysis of the potential of a new concept for urban last-mile delivery: Ducktrain, 14, 100579. *Transportation Research Interdisciplinary Perspective*
- \*Schwerdfeger, S., & Boysen, N. (2022). Who moves the locker? A benchmark study of alternative mobile parcel locker concepts. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 142, 103780.
- Sindi, S. & Woodman, R. (2020). Autonomous goods vehicles for last-mile delivery: Evaluation of impact and barriers. 2020IEEE 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). DOI: 10.1109/ITSC45102.2020.9294558
- Soper, S., & Day, M. (2022). *Amazon Abandons Home Delivery Robot Tests in Latest Cost Cuts*. Bloomberg. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-10-06/amazon-abandons-autonomous-home-delivery-robot-in-latest-cut#xj4y7vzkg?leadSource=verify%20wall> accessed 29.11.22
- \*Srinivas, S., Ramachandiran, S., & Rajendran, S. (2022). Autonomous robot-driven deliveries: a review of recent developments and future directions. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 165, 102834. *tives*, 14, 100579.
- Thompson, E. L., & Smith, L. A. (2019). Escape from model-land. *Economics*, 13(1).
- \*Wang, K., Pesch, E., Kress, D., Fridman, I., & Boysen, N. (2022). The Piggyback Transportation Problem: Transporting drones launched from a flying warehouse. *European Journal of Operational Research*, 296(2), 504-519.
- \*Wang, M., Zhang, C., Bell, M. G., & Miao, L. (2022). A branch-and-price algorithm for location-routing problems with pick-up stations in the last-mile distribution system. *European Journal of Operational Research*, 303, 1258.

- \*Williamsson, J. (2022). Business model design for campus-based autonomous deliveries—A Swedish case study. *Research in Transportation Business & Management*, 43, 100758.
- \*Yu, S., Puchinger, J., & Sun, S. (2022). Electric van-based robot deliveries with en-route charging. *European Journal of Operational Research*.
- \*Zang, X., Jiang, L., Liang, C., Dong, J., Lu, W., & Mladenovic, N. (2022). Optimization approaches for the urban delivery problem with trucks and drones. *Swarm and Evolutionary Computation*, 75, 101147.
- \*Zeng, S., Zhang, N., Zhang, C., Su, W., & Carlos, L. A. (2022). Social network multiple-criteria decision-making approach for evaluating unmanned ground delivery vehicles under the Pythagorean fuzzy environment. *Technological Forecasting and Social Change*, 175, 121414.
- \*Zou, L., & Yai, T. (2022). A proposal of envelope theorem on the mixed traffic of pedestrians and various mobilities. *Asian Transport Studies*, 8, 100050.
- \*Zou, L., & Yai, T. (2022). Exploration of mental envelope determinants when pedestrians interact with various mobilities on mixed streets. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 85, 24-37.
- Ørving, T. & Phillips, R.O. (2022). Kortreist mat – Hvordan oppnå en bærekraftig distribusjon av matvarer fra småskalaprodusenter i Viken? TØI rapport 1905/2023.
- Ørving, T. & Weir IV, H.T. (2022). Potensialet ved kommersiell bruk av lastesykler. TØI rapport 1892/2023.

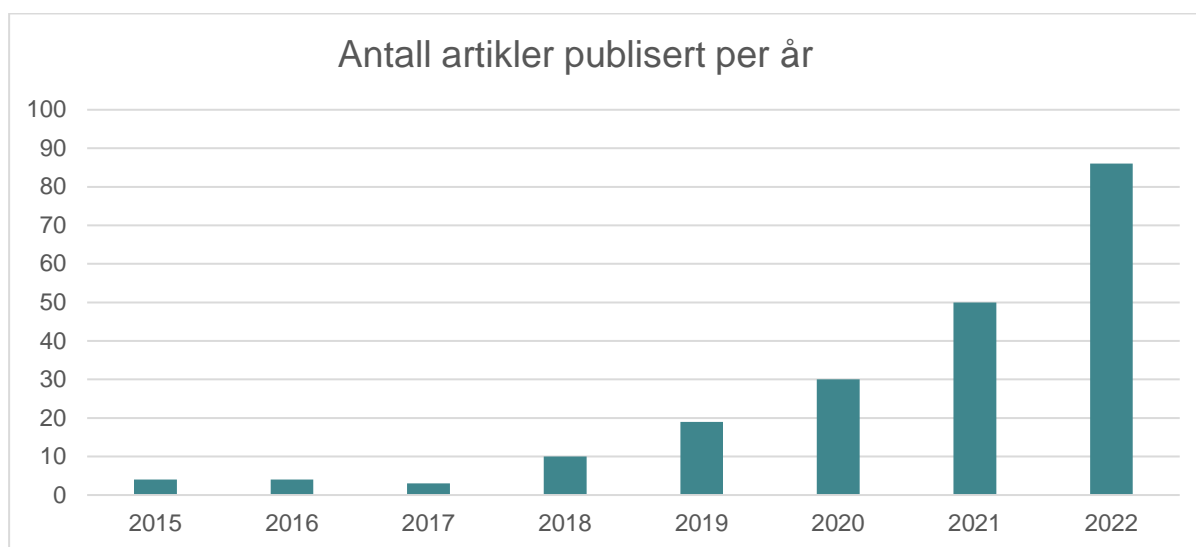
## Vedlegg

Vedlegg 1.	Litteraturstudie.....	47
Vedlegg 2.	Skjema om samtykke og personvern.....	55
Vedlegg 3.	Intervjuskjema brukt med bransjeaktører .....	57
Vedlegg 4.	Intervjuskjema brukt med bransjeaktører som deltok i feltstudien .....	59
Vedlegg 5.	Fokusgruppeintervju med internasjonale fageksperter.....	60
Vedlegg 6.	Varelevering i by: Systemanalyse .....	61
Vedlegg 7.	Erfaringer fra feltstudien .....	62
Vedlegg 8.	Funksjoner terminal-hub-kunde.....	82

## Vedlegg 1. Litteraturstudie

Mange utfordringer innen varelevering i by (bylogistikk) har eksistert over lang tid, men blitt forverret av nye trender som netthandel og dets kraftige vekst det siste tiåret (Allen et al. 2018). Veksten i netthandel har økt under pandemien, og selv om veksten nå er på et mer stabil nivå enn under pandemien, har pandemihandlingen tilført et ytterligere element som kan by på utfordringer i bylogistikken: Kunder har blitt mer vant til å handle et bredt spekter av varer på nett og få det levert hjem med svært korte leveringsfrister, såkalte «on-demand» tjenester (Alfandari et al. 2022). Slike trender og utviklinger øker leveringskravene og legger press på eksisterende ressurser innen varetransportsektoren.

Teknologiske fremskritt åpnet for nye handelstrender, men også for nye muligheter for autonom person- og godstransport. Når det gjelder godstransport, blir autonome kjøretøy vurdert som en mulig løsning i fremtiden for en rekke utfordringer knyttet til varelevering og modeller tyder på at det har potensialet til å gjøre transport tryggere, billigere, mer miljøvennlig og mer effektiv (Srinivas et al. 2022). Om autonom vareleving kan faktisk levere på disse løftene er ikke avklart ennå. Særlig den siste tiden har autonome teknologi blitt mer avansert, noe som har ført til at både forskning på og testing av autonome kjøretøy har akselererte kraftig i de siste årene. Dette illustreres i figur V1.1, som viser en påbegynnende eksponentiell vekst i antall publiserte artikler med søkeord knyttet til bruk av autonomkjøretøy per år. Figuren viser blant annet at det har blitt publisert flere artikler i 2022 enn 2021 og 2020 til sammen.



Figur V1.1: Antall artikler fra Scopus databasen ved bruk av søkordene «Delivery Robots», «Parcel Robots», «autonomous delivery vehicles» og «unmanned vehicle deliveries».

I en litteraturgjennomgang identifiserer Srinivas et al. (2022) fem primære forskningsområder for autonom varelevering: 1) Ruteplanlegging, 2) Flåte -og infrastrukturplanlegging 3) Effektivitet, 4) Brukeraksept, og 5) Sosial intelligens. Fra litteraturstudien så de at det foreløpig var mest fokus var på ruteplanlegging, at feltet er under rask utvikling og at 70% av artiklene de gikk gjennom hadde blitt publisert i løpet av de tre siste årene (Srinivas et al. 2022). Funnene til Srinivas et al (2022) om og påfølgende forskningsartikler tyder på at det er flere forskningshull innenfor temaet autonom varelevering, særlig knyttet til manglende historisk data fra «real world operations», sosial intelligens og bruk av mer realistiske begrensinger i modeller. Dette arbeidet bidrar til å dekke kunnskapshull om hvordan relevante aktører som næringslivet, offentlig sektor, brukere og offentligheten for øvrig påvirkes av autonome vareleveranser, hvordan de tror bruken blir i fremtiden og avslutningsvis hvordan offentlige vegmyndigheter kan komme i forkant av utviklingen.

## V1.1 Litteraturgjennomgangen

Litteraturgjennomgangen har tatt utgangspunkt i litteraturstudien til Srinivas et al (2022), som favner publisert litteratur om autonome kjøretøy frem til februar 2022, og er supplert med forskningsartikler publisert fra februar 2022 til nov 2022. Det har også blitt søkt etter dokumenter som omtaler de seneste utviklingene i feltet og erfaringer fra en norsk kontekst. Søket har vist at det hittil i Norge har vært mest fokus på persontransport, og det er gjort mange piloter med selvkjørende busser i flere norske byer, som Bodø, Oslo, Stavanger og Kongsberg. Autonom varelevering i byer, derimot, har ikke blitt testet i samme grad, bortsett fra noen kortvarige pilotprosjekter. For eksempel, Postens test av en autonom pakkerobot i 2020 (Ludt 2020), eller testen av en autonom fortausrobot som er beskrevet i denne rapporten. [Selvkjørende biler trøbler på norske veier \(gemini.no\)](#)

Ifølge modellering, er det stort potensial for autonom varelevering til å effektivisere logistikk og gjøre det både mer miljøvennlig og mer lønnsomt (Srinivas et al. 2022; Alfandari et al. 2022; Heimfarth et al. 2022). Det er flere mulig bruksområder hvor autonomkjøretøy har potensial til å effektivisere logistikk, men det kreves investering i kjøretøy, digital og fysisk infrastruktur, og endringer i hvordan logistikk aktiviteter er organisert og gjennomført.

## V1.2 Metoden

Ved bruk av søkeordene «Delivery Robots», «Parcel Robots», «Autonomous delivery vehicles» og «Unmanned vehicle deliveries» på Scopus databasen (de samme søkeordene brukt av Srinivas et al. (2022)) ble det identifisert **72** artikler publisert mellom Srinivas et al. (2022) i XXXX og litteratursøket gjennomført i oktober 2022.

Artiklenes sammendrag (abstract) ble lest for å identifisere relevans. Blant de 72 artiklene kunne 37 bli ekskludert fordi de handlet om andre aspekter enn varelevering- for eksempel tjenesteroboter til sykehus, på lager eller hoteller. De gjenværende 35 artiklene diskuterte nye utviklinger i feltet og ble fordelt i de 5 kategoriene nevnt av Srinivas et al. (2022) (se tabell V1.1). Fordelingen visste fortsatt et stort fokus på ruteplanlegging, med over halvparten (18) av artiklene, mens flere artikler dekket to eller flere kategorier. Det var særlig ruteplanlegging og effektivitet som ble kombinert for å diskutere potensialet nye strategier og ruteplanleggingsalgoritmer har for å effektivisere logistikken.

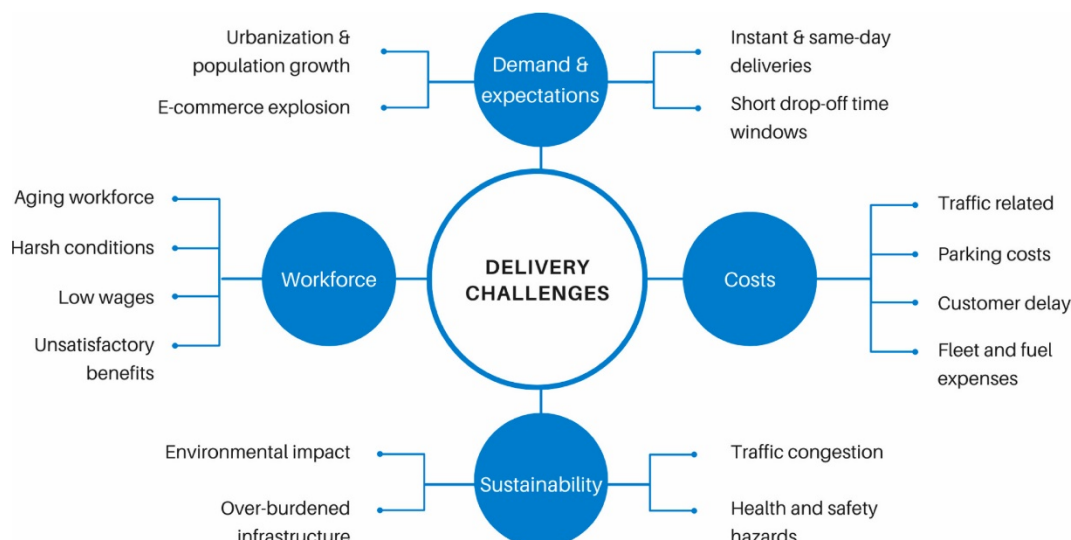
Tabell V1.1: Fordeling av artiklene etter strukturen forslått av Srinivas et al. (2022).

Ruteplanlegging	Flåte og infrastruktur-planlegging	Effektivitet	Brukeraksept	Sosial Intelligens	Other
18	8	11	5	5	1

Den videre litteraturgjennomgangen av forskning på autonom varelevering har følgende inndeling: først blir nåværende utfordringer i sisteleddsdistribusjon diskutert, deretter omtales forskjellige strategier og konsepter for autonom varelevering sammen med en oversikt over forskjellige type kjøretøy. Til sist oppsummeres mulige bruksområder i fremtiden og hva som trengs for å integrere autonome kjøretøy i dagens og fremtidens logistikkjeder.

Utfordringene knyttet til bylogistikk og sisteleddsdistribusjon har blitt et stadig viktigere tema i både offentlig og privat sektorer og er godt dokumentert av tidligere forskning. Forurensing, kostnader, trafiksikkerhet, kø og støy er blant de oftest nevnte konsekvensene av godstransport i byer, men gode løsninger for sisteleddsdistribusjon har vist seg å være vanskelig å oppnå (Schomaker et al. 2022; Kloster et al. 2022). Srinivas et al. (2022) har oppsummert 4 hovedkategorier av utfordringer (figur V2), som inkluderer sosiale, økonomiske, operasjonelle og bærekraftige dimensjoner.





Figur V1.2: Utfordringer knyttet til varelevering. figur hentet fra Srinivas et al. (2022).

Høyere forventninger fra kunder med tanke på service, kombinert med økende salg i netthandel, til dels på grunn av pandemien, har ført til økt kompleksitet i logistikk kjeder og økende fokus på løsninger som kan bidra til effektivisering i sisteledd distribusjon (Allen et al. 2018; Buldeo Rai et al. 2022; Bachofner et al 2022).

Behovet for mer effektiv logistikk er forsterket av byer som er mer fokusert på bærekraftig utvikling og vil at bylogistikk skal gjennomføres i tråd med målene deres for å bygge et mer bærekraftig samfunn. Sisteledd distribusjon er den dyreste delen av logistikk kjedet, og strengere regulering på trafikk gjennom tiltak som bompenger, nullutslippssoner og gateregulering kan gjøre det enda dyrere.

I tillegg, har det blitt vanskeligere å finne og beholde sjåførene. Deler av bransjen er dårlig regulert, krever stadig mer av sjåførene og betaler mindre (Klassekampen, 2022). Mannskap er også blant de største kostnadsdrivere for logistikkselskapene som kan stå for opptil 80% av operasjonelle kostnader for et kjøretøy (Bachofner et al. 2022). Bedrifter ser autonomkjøretøy som en mulig løsning som kan både effektivisere logistikk og redusere kostnader. Samtidig som autonomkjøretøy kan bidra til å løse mangel på sjåførere, er det også en risiko at de kan ta jobber fra sjåførere hvis det introduseres mange nok, et inntrykk som kan føre til motstand blant sjåførere (Othman 2022).

### V1.3 Konsepter for autonom varelevering

Autonome kjøretøy for varelevering kan deles inn i 2 hovedkategorier, «Unmanned Aerial Vehicles» og «Autonomous Ground Vehicles». Disse kan igjen deles inn basert på toppfart, teknologinivå, vekt, størrelse, og bruksområdet (figur 3.1). Forventningen er at autonome kjøretøy kan bidra til å effektivisere logistikkoperasjoner ved å enten erstatte behovet for sjåførere eller frigjøre tid slik at sjåførene kan jobbe mer effektivt og fokusere på komplekse oppgaver som, med dagens infrastruktur, er forbehold mennesker (Williamson, 2022).

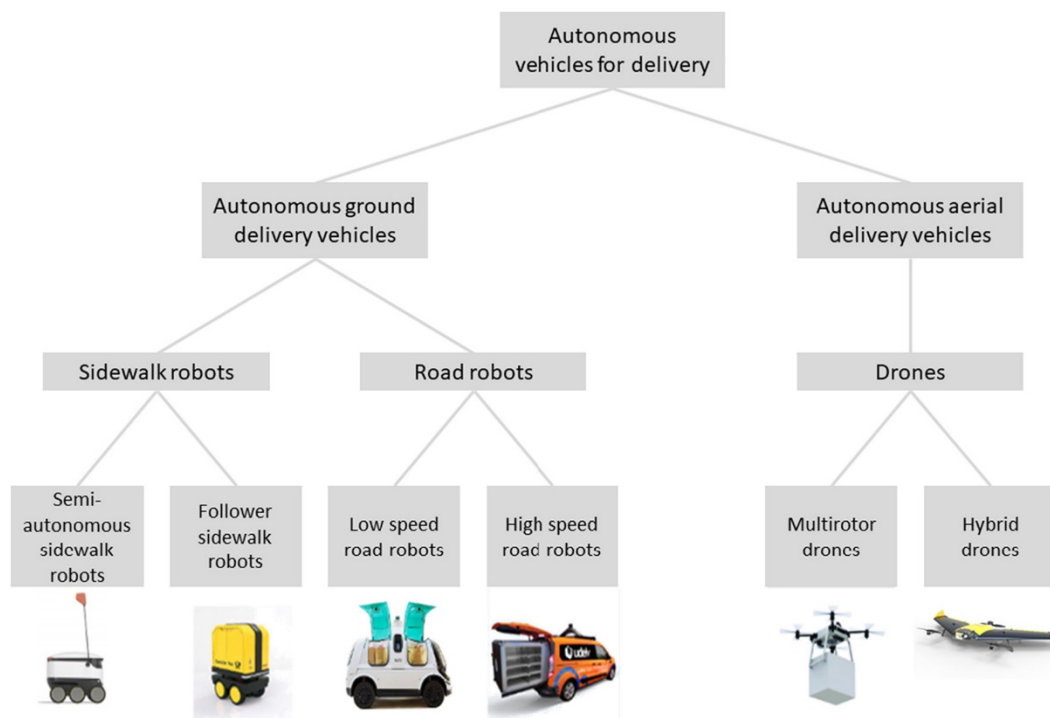
Modellering og ruteplanlegging av autonome kjøretøy for varelevering viser stort potensial for effektivisering av logistikkoperasjoner, særlig knyttet til reduserte kostnader, utslipp og energibruk. Forskning på ruteplanlegging konsentreres seg om å løse kombinasjoner av velkjente problemer som «The Traveling Salesman Problem» og «The Knapsack Problem» hvor man henholdsvis prøver å finne det mest effektive rute mellom forskjellige punkter eller den mest effektive måte å stable objekter i en kontainer (eller kjøretøy). Disse problemene er såkalt «NP hard» som betyr i praksis at de blir eksponentielt mer kompleks med store datasett (flere stopp eller pakker) som ikke kan løses i rimelig

tid selv med de kraftigste datamaskiner. Ruteplanleggingsalgoritmer må derfor bruke snarveier, så kalt heuristikk, for å finne gode løsninger i relativt kort tid uten å bruke for mange dataressurser.

Ved siden av å effektivisere algoritmene er forskningen innen autonom varetransport opptatt av å finne og inkludere flere elementer i modelleringen for å bedre gjenspeile realiteten. Slike elementer kan være lading av kjøretøy (Yu. Et al 2022), energibruk (Kloster et al. 2022; Rorigues et al. 2022), tidsvinduer (Alfandari et al.; Qi et al. 2022), eller bruk av flere typer kjøretøy og infrastruktur samtidig (Heimfarth et al. 2022; Kloster et al. 2022; Alfandari et al. 2022).

## Kjøretøykategorier

For sisteleddsdistribusjon i byer, er det mest interesse i «Autonomous Ground Vehicles» eller bakkegående autonomkjøretøy. Selv om droner har høyere toppfart og ikke påvirkes av vegtrafikk, er de av flere vurdert som mindre attraktivt for varelevering i byer siden de har lav kapasitet, høyere risiko og er strengere regulert (Ostermeier et al. 2021; Alfandari et al. 2022; Bachoffner et al. 2022; Buldeo Rai et al. 2022).



Figur V1.3: Forskjellige kategorier for autonomkjøretøy (Buldeo Rai et al. 2022).

I mange tilfeller, er det ikke vekt og volum som begrenser effektiviteten til en sjåfør, men tid. Det er sett som verken ønskelig eller effektivt for logistikkaktører å bruke flere kjøretøy med lav fyllingsgrad for å tilfredsstille økte leveringskrav fra netthandel (Allen et al. 2018). Her kan autonome kjøretøy spille en rolle: Mindre pakker kan bli levert av flere små autonome kjøretøy som gir sjåførere og kunder mer fleksible tidsvinduer samtidig som det frigjøres tid til at mennesker kan levere pakker som ikke passer for autonome kjøretøy (Williamson, 2022). I tillegg medfører konseptet at en større andel pakker leveres av mindre plasskrevende, tryggere og mer miljøvennlig kjøretøy.

Hvor, når og hvordan autonome kjøretøy kan bli integrert i nåværende logistikkjeder er avhengig av 5 aspekter: 1) infrastruktur; 2) hastighet; 3) SAE nivå; 4) størrelse; og 5) kapasitet; (Buldeo Rai 2022).

SAE referer til «Society of Automotive Engineers» som har definert 5 nivåer av autonomkjøring. Så langt har nivå 4 blitt nådd bare i veldig definert områder med støtte fra infrastruktur. Kombinasjonen av disse faktorene avgjør det autonome kjøretøyets «Operational Design Domain», det vil si området hvor den kan fungere i et visst nivå. Å forstå både hvor et autonomt kjøretøy kan fungere og hva som må til for å utvide dette området kan være avgjørende for å finne den best måten å introdusere dem i Logistikk-systemer. På nivå 4 må det ikke være et menneske i bildet.

Tabell V1.2: Egenskaper av forskjellige kategorier av autonome kjøretøy.

Kategori	Hastighet	SAE nivå	Kjøretøyets vekt	Laste-kapasitet	Rekke-vidde	Eksempel
Fortaus roboter	<16km/h	3-4	<100kg	<50kg	6-20km	Amazon Scout; Kiwibot; Starship Robot; Serve Robotics
Lavhastighet vei	<70 km/hh	3-4	<1200kg	<300kg	50-100km	Nuro R3, Duck Train, Neolix
Høyhastighet vei	>70 kph	3-4	>1200kg	>300kg	350km	Udelv, Gatik

Fortausroboter har blitt tatt i bruk i stadig flere byer for å gjennomføre transport av varer over korte strekninger. De kjører i såpass lav hastighet at de er sett som lettere å innføre fra et regulatorisk- og sikkerhetsperspektiv enn droner eller større kjøretøy og kan bli delvis fjernstyrt gjennom områder og miljøer som de ikke kan navigere selv (Srinivas et al., 2022; Buldeo Rai et al., 2022; Bachoffner et al., 2022; Heimfarth et al. 2022 Alfandari). Med større kapasitet og høyere hastighet kan lavhastighetsroboter på vei gjennomføre flere leveranser i et større område. Samtidig stilles det høyere krav til regulering og de er ikke tillatt på fortuet. De er mindre enn en varebil og kan passer inn i et bybilde med trange gater. Høyhastighetsroboter er fortsatt i en tidlig fase innen bruk til sisteledds-distribusjon i by. Grunnen er det komplekse trafikkbildet som ofte oppstår i byer, og at slike kjøretøy er store, tunge og kan oppnå høy hastighet (Buldeo Rai et al., 2022). Foreløpig er de mest egnet for enklere transportetapper, for eksempel mellom to huber. Noen høyhastighetsroboter er utviklet fra bunnen opp med tanke på autonom kjøring. Det vil si at de ikke har ratt og andre komponenter vi typisk forbinder med biler. Alternativt kan et tradisjonelt kjøretøy bli utstyrt med sensorer for å gjøre det mulig å kjøre den autonomt. Av de 3 kategoriene i tabell V1.2, har høyhastighetsrobotene de høyeste kravene fra et regulatorisk perspektiv på grunn av høy fart og vekt.

## Bruk av Autonomkjøretøy

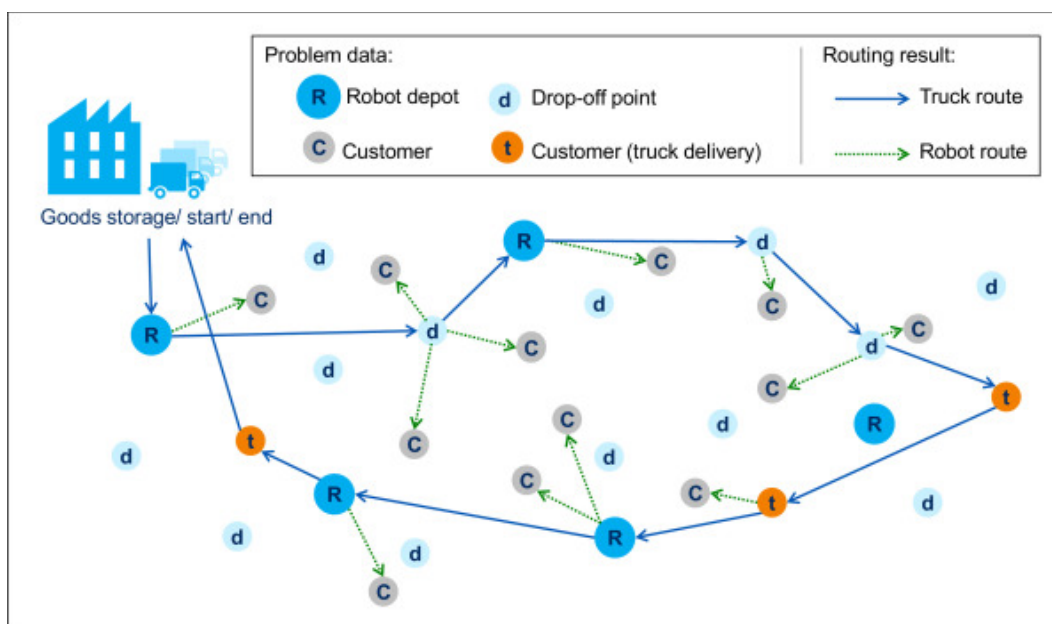
Det finnes 4 hovedkonsepter for bruk av autonomkjøretøy for varelevering, men det er mye variasjon innenfor disse konseptene basert på hvor mange, hvilke type og i hvilken kombinasjon autonome kjøretøy brukes. Droner og roboter kan bli tatt i bruk i forskjellige kombinasjoner avhengig av type infrastruktur og kjøretøy de må samarbeide med. (Buldeo Rai et al. 2022; Kloster et al. 2022; Heimfarth et al. 2022).

### 1) Direkte

Det enkleste konseptet, hvor autonome kjøretøy eller droner lastes med pakker på terminal og reiser direkte til leveringsstedet. Det trengs enten infrastruktur eller et menneske for å ta imot varene når de kommer frem, men selve godstransporten skjer helt autonomt (Srinivas 2022). Dette konseptet er fokusområdet for selskapet Gatik, som har levert kjøretøy som klarer å kjøre enkelte ruter for å levere varer mellom et varehus og en butikk helt autonomt (Garsten, 2022).

## 2) Mobil hub

I denne strategien brukes et større kjøretøy for å transportere pakker og/eller mindre autonome kjøretøy og droner til leveringsområdet slik at den fungerer som en mobilhub. De mindre kjøretøyene kjører så ut til forskjellige destinasjoner, leverer pakkene sine, og kjøre tilbake til mobilhuben for å enten fylle på nytt ellers bli kjørt til et nytt område. Avhengig av hvordan systemet er organisert, kan mobilhuben også gjennomføre logistikk aktiviteter samtidig. De to hovedelementene (mobildepot og leveransen) kan fylle forskjellige behov ved å kombinere roboter, droner, lastesykler, varebiler og mennesker i forskjellige roller (Alfandari et al. 2022; Najy et al. 2022; Heimfarth, 2022; Buldeo Rai et al. 2022; Wang et al. 2022; Zang et al. 2022). For eksempel et autonomt kjøretøy kunne kjøre rundt for å overføre pakker til et bud til fots slik at de slipper å lete etter parkering, eller det motsatte, at en sjåfør kjører små fortausroboter til et sted hvor de drar ut og leverer pakker og møter det store kjøretøyet igjen etter leveringen for å hente flere pakker.



Figur V1.4: Eksempel av ruteplanlegging med huber, roboter og varebiler hentet fra Heimfarth et al. (2022).

## 3) Hub

Fast huber kan bli brukt til å støtte autonome kjøretøy og muliggjøre forskjellige type leverings mønstre. For eksempel kan godset transporteres til en hub i nærheten av leveringsområdet hvor pakkene omlastes til mindre autonome kjøretøy som fullfører det siste transportleddet (Kloster et al. 2022; Liu et al. 2022). Hubene kan være av forskjellige størrelser avhengig av behov, og kan bli brukt til oppbevaring av pakker og lading av kjøretøy. Huber med mange fasiliteter krever større investering i infrastruktur, men selv et nettverk av små mindre huber ville ha vært en betydelig kostnad (Heimfarth et al. 2022).

## 4) Platooning eller Følgerroboter

«Platooning» er en strategi hvor autonome kjøretøy koblet sammen i rekke følger etter et ledende kjøretøy eller menneske. I sisteleddsdistribusjon, kan platooning bli brukt for å øke kapasiteten til mindre kjøretøy som en sykkel (eller et bud til fots) ellers for å lede kjøretøyene mellom isolerte områder hvor det er tillatt å kjøre autonomkjøretøy (Schomakers et al. 2022). Når platoonen kommer til et autonom vennlig området kan kjøretøyene fordeles og gjennomføre oppgavene sine uavhengig

av hverandre. Denne strategi er også sett som en måte å venne samfunnet til utvidet bruk av autonomkjøretøy ved å introdusere teknologien gradvis (Buldeo Rai et al. 2022).

## V1.4 Bruksområder og fremtiden

Buldeo Rai et al. (2022) mener at den naturlige utviklingen for autonome kjøretøy i byer i fremtiden er å begynne med «Platooning» eller følgeroboter, og så deretter utvide til roboter på fortauet og på veien. Ducktrain er en kjøretøyprodusent som har prøvd å integrere den gradvise utviklingen i egenskapene av selv kjøretøy, både for å introdusere teknologien gradvis, men også for å tilfredsstillere regulatoriske krav (Schomakers et al. 2022). I første omgang skal den være tilkoblet en sykkelhenger som avlastet syklisten. Etter hvert skal den klare å kjøre i en platoon, med syklisten som ledende kjøretøy, og til sist skal den kjøre helt autonom.

Srinivas et al. (2022) noterer at det fortsatt er mest vanlig med «attended deliveries» hvor et menneske må være på plass for å håndtere den siste overføringen av varer enten til en hub eller til kunden. Heimfarth et al. (2022) ser slike leveranser med fysisk nærvær som en stor barriere som begrenser bruksområdet for autonome kjøretøy. Hvis autonome kjøretøy skal bli brukt i større grad må løsninger som tar hensyn til behovet for fysisk nærvær ved overføring av gods innføres. Det betyr at autonome levering per i dag er letteste å gjennomføre, og har mest potensial på kort sikt, i situasjoner der mennesker står klar på begge sider av transportetappen. Det kan betyr større investeringer i infrastruktur, overføring av ansvar til kunder som må hente pakker selv, eller at autonome kjøretøy kun brukes til transport mens ansatte fortsatt er til stedet for overlevering av varene til kunder. Pakkebokser, enten mobile eller statiske, kan redusere behovet for menneskelig nærvær ved leveranse. Schwerdfeger og Boysen (2022) ser på forskjellige konsepter med pakkebokser, og ser at selvkjørende pakkebokser har muligheten til å øke servicegrad til kunder til lavere kostnad.

Peppel et al. (2022) vurderer, ved bruk av en Delphi Survey som prognoseteknikk, at det er usannsynlig at autonome kjøretøy kommer til å dominere logistikk på kortsikt, men at autonome roboter og særlig mobile pakkeautomater kommer til å ha en stadig større rolle. I motsetning til de fleste andre land, har Norge (og Norden generelt) en høy andel av pakker levert til hentepunkter (Posten, 2021). Pakkeautomater er en mulig løsning for en av barrierene med autonome kjøretøy ettersom behovet for fysisk nærvær ved leveranser løses samtidig som både kunden og transportør får mer fleksibilitet. Men det vil også kreve en betydelig investering i infrastruktur for levering til pakkeautomater kan skje helt autonom.

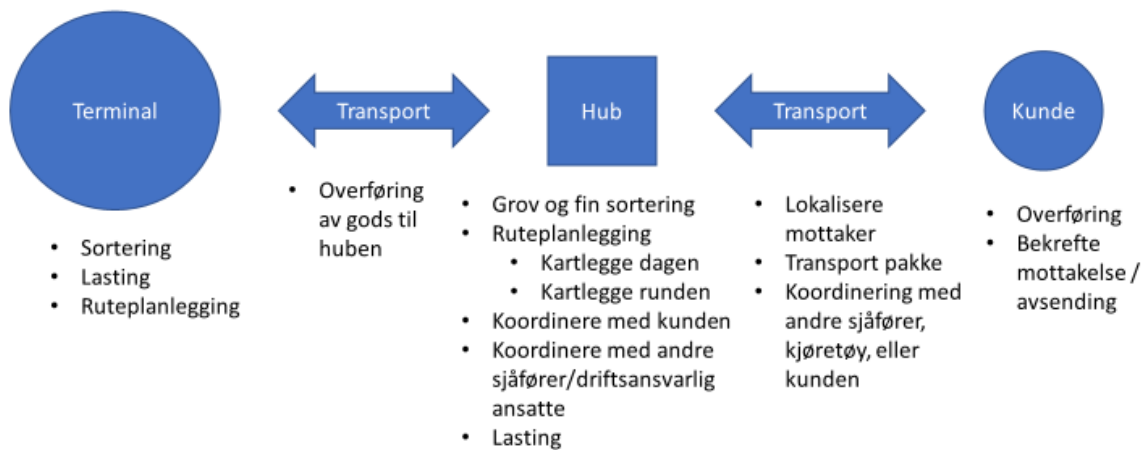
Investeringer i infrastruktur er nødvendig for at autonome kjøretøy kan gjennomføre en høy andel av leveransene (Ostermeier et al. 2021). Lokal kontekst kan spille en rolle og er en grunn til at universiteter er et attraktivt testområde: studenter vurderer som «tech savvy», det vil si at de er interessert i å lære om og teste nye løsninger, samtidig som trafikkbildet på universiteter ofte er enkle å navigere i for autonome kjøretøy (Williamson, 2022). I tillegg er trafikkmengder ofte lave på universitetsområder.

Sosial aksept ventes også å påvirke utbredelse av autonome kjøretøy i byer. På den ene sida har autonom varelevering potensialet til å redusere arealbeslag over tid for leveranser, men hvis fortauene blir fylt opp av små roboter kan det føre til frustrasjon blant innbyggere. Hvordan roboter styres og signaliserer deres intensjoner til andre trafikanter for å få til bedre samspill er et aktivt forskningsfelt, og det er økende fokus for kjøretøy å bedre forutsi fotgjengerbaner (Kalatian, 2022) og hvordan en fotgjenngeres «mental envelope» er påvirket av autonomkjøretøy (Zou og Yai, 2022).

Teknologiutvikling er kanskje det aller viktigste for fremtidens bruk av autonomkjøretøy og også det som vanskeligst å predikere. Fra 2010 til 2020 er det estimert at global investeringen i autonomkjøretøy har oversteget 100 milliarder dollar (Holland-Letz et al. 2021), og det er ukjent når teknologien vil nå SAE nivå 5. I oktober 2022 avsluttet Ford og VW partnerskapet med Argo AI på grunn av stor usikkerhet (og sviktende tillit) til at teknologien kommer til å nå SAE 5 på kort sikt (Lienert 2022).

Også Amazon og FedEx ga i høsten 2022 beskjed om at de drastisk nedskalerte satsingen på fortausroboter, men oppga ingen konkrete årsaker (Soper og Day, 2022). Til tross for tegn på redusert entusiasme for autonome kjøretøy blant noen aktører, er det fortsatt vekst i bruken av autonome kjøretøy på lukkede områder som næringsparker, byggeplasser og korridorene mellom terminaler. Her er terskelen for å ta i bruk autonome kjøretøy lavere enn midt i byen.

Fra tidligere forskning har vi identifisert minst 13 funksjoner som et sykkelbud med base i en byhub gjennomfører i løpet av en vanlig arbeidsdag. Med dagens teknologi og infrastruktur er det mulig å erstatte noen av disse funksjonene enten helt eller delvis med et autonomt kjøretøy, særlig de knyttet til selv transport. For å erstatte alle funksjonene vil det derimot kreve en rekke forskjellige teknologier, store investeringer i infrastruktur og omorganisering av logistikksystemer. Flexibiliteten som ligger i at mennesker gjennomfører oppgaver i ulike kontekster og ved uventede problemer kan være vanskelig å erstatte, særlig på kortsikt. Figur V1.5 gir et eksempel på hovedaktivitetene i en logistikk-kjede der gods transporteres via en sentrumsnær byhub og omlastes til mindre kjøretøy før sisteledds-distribusjon.



Figur V1.5: Plassering av identifisert funksjoner i logistikk-kjedet.

## V1.5 Konklusjoner

Det er fortsatt et stort behov for analyser og fysiske tester av autonome teknologier, særlig innen varelevering. Forskning på autonom vareleving har hittil fokusert mest på modellering, ruteplanlegging og teoretiske scenarier. Selv om flere kommersielle aktører har tatt i bruk autonome kjøretøy (særlig fortausroboter) for varelevering er det foreløpig begrenset informasjon om resultatene. Ofte er det ikke kjent hvilke problemer som har oppstått, hvilke forutsetninger som gjør bruken kostnads-effektiv, nødvendig infrastruktur og hvordan de overnevnte funksjoner blir ivaretatt i praksis ved overgang til autonome kjøretøy. Data fra testing, pilotprosjekter eller pågående kommersielle bruk kan hjelpe med svar på disse spørsmålene.

I Norge har fokuset vært på autonome busser, og det er gjennomført flere piloter i norske byer. Det har foreløpig vært få tester av vareleving i norsk kontekst, og enda færre innen bylogistikk (Shifter, 2021). Droner har blitt og blir testet i flere sammenhenger, mest utenfor byer. Her er fordelene større (på grunn av lange avstander), reguleringen lettere, og godstypene (for eksempel vann og blodprøver) egner seg godt til dronetransport. En selvkjørende pakkeautomat ble i 2020 testet av Posten i 2 uker i Oslo, uten at resultatene ble offentliggjort (Posten, 2021). At bylogistikk med selvkjørende kjøretøy ikke har blitt testet gjør det vanskelig å vurdere potensialet for oppskalering.

## Vedlegg 2. Skjema om samtykke og personvern

Formålet med prosjektet er å undersøke hvordan bruk av autonome kjøretøy i varelevering vil påvirke organisasjoner og samfunn.

### Hvem er ansvarlig for forskningsprosjektet?

Transportøkonomisk institutt (TØI) ved Dr. Ross Phillips.

### Hvorfor får du spørsmål om å delta?

Posten piloterer en fortausrobot på Aker brygge. TØI forsker på hvordan mennesker har opplevd fortausroboten. Vi ønsker å stille deg noen spørsmål om dette.

### Hva innebærer det for deg å delta?

Vi vil gjennomføre intervju med deg individuelt. Intervjuet vil ta 60 minutter. Vi vil ta notater underveis og be om tillatelse til å ta lydopptak av samtalen.

### Er det frivillig å delta?

Ja. Velger du å delta, kan du når som helst trekke samtykket tilbake uten å oppgi noen grunn. Alle dine personopplysninger vil da bli slettet. Det vil ikke ha noen negative konsekvenser for deg hvis du ikke vil delta eller senere velger å trekke deg.

### Hvordan vil vi oppbevarer og bruker dine opplysninger?

- Vi vil bare bruke opplysningene om deg til formålene vi har fortalt om i dette skrevet. Vi behandler opplysningene konfidensielt og i samsvar med personvernregelverket.
- Kun de som gjennomfører intervjuene vil ha tilgang til notater fra intervjuet.
- Du som deltaker vil ikke kunne gjenkjennes i en distribuert publikasjon. Det som da publiseres vil være fortolkede generelle data.

### Hva skjer med opplysningene dine når vi avslutter forskningsprosjektet?

Opplysningene anonymiseres når prosjektet avsluttes/oppgaven er godkjent, noe som etter planen er 01.06.23. Etter dette vil opplysningene anonymiseres og eventuelle lydopptak slettes. Transkriberte intervjuer uten persondata vil beholdes på sikker server ved Transportøkonomisk institutt for mulighet for videre analyser.

### Dine rettigheter

Så lenge du kan identifiseres i datamaterialet, har du rett til:

- innsyn i hvilke personopplysninger som er registrert om deg, og å få utlevert en kopi av opplysningene,
- å få rettet personopplysninger om deg,
- å få slettet personopplysninger om deg, og
- å sende klage til Datatilsynet om behandlingen av dine personopplysninger.

### Hva gir oss rett til å behandle personopplysninger om deg?

Vi behandler opplysninger om deg basert på ditt samtykke.

Norsk senter for forskningsdata AS (NSD) har vurdert at behandlingen av personopplysninger i dette prosjektet er i samsvar med personvernregelverket.

### Hvor kan jeg finne ut mer?

Hvis du har spørsmål til studien, eller ønsker å benytte deg av dine rettigheter, ta kontakt med:

- Transportøkonomisk institutt (TØI) ved Ross Phillips, [ross.phillips@toi.no](mailto:ross.phillips@toi.no)
- Vårt personvernombud: Silvia Olsen, [sjo@toi.no](mailto:sjo@toi.no)

Hvis du har spørsmål knyttet til NSD sin vurdering av prosjektet, kan du ta kontakt med:

- NSD – Norsk senter for forskningsdata AS på epost ([personverntjenester@nsd.no](mailto:personverntjenester@nsd.no)) eller på telefon: 55 58 21 17.

Med vennlig hilsen

Dr. Ross Phillips

(Forsker)

---

**Samtykkeerklæring**

Jeg har mottatt og forstått informasjon om prosjektet «Autonom varelevering i by» og har fått anledning til å stille spørsmål. Jeg samtykker til:

- å delta i intervju
- lydopptak av intervjuet

Jeg samtykker til at mine opplysninger behandles frem til prosjektet er avsluttet

---

(Signert av prosjektdeltaker, dato)



## Vedlegg 3. Intervjuskjema brukt med bransjeaktører

**Skjemaet brukt med de som jobber i bylogistikk. Spørsmålene ble noe tilpasset avhengig av de som ble intervjuet: offentlig sektor, varesender, varemottaker eller logistikkselskap.**

### Innledning

- TØI forklarer
  - hvem forskeren er
  - om forskningsprosjektet Autoby
  - Hensikten med intervju:
    - Forstå mer om hvordan varelevering i by skjer i dag
    - Få din mening om
      - utfordrende områder i bylogistikk
      - potensialet for autonom varelevering i fremtiden (du trenger ikke å vite noe om autonome kjøretøy osv.)
- Vi ber om samtykke til å ta opp intervjuet (skal slettes etterpå)

### Intervjuspørsmål

1. Kan du si litt om din bakgrunn og nåværende stilling? Har du flere roller i bylogistikk?
2. Som en viktig aktør for varelevering i by, hva er det som kjennetegner god bylogistikk for X? Hva er det dere prøver å oppnå?
3. Hva må gjøres for å oppnå disse målene? (Kan du bryte ned til 4-6 hovedaktiviteter?)
4. Hvordan organiseres arbeidet? (Her kan vi avgrense hva vi snakker om hvis det er behov for det).
5. Hvilke utfordringer er det når man prøver å få til «god bylogistikk»?
  - a. Fremkommelighet?
  - b. Trafikksikkerhet?
  - c. Infrastruktur?
  - d. Kjøretøy?
  - e. Teknologi?
  - f. Miljø?
  - g. Lovverk, reguleringer
6. Hvilke avgjørelser er vanskeligste når man organiserer varelevering i by?

*[[Her vil TØI beskrive litt om kjøretøy for autonom varelevering. Si noe om tidsperspektiv 5-10 år]]*

Ulike typer kjøretøy for autonom varelevering i by

1) Fortausroboter



- Platooning mulig på alle nivåer
- Teknologi for automatisering bestemmer krav på infrastruktur, kontrollsentere osv.

2) Autonome kjøretøy på veier med lav hastighet



3) Autonome kjøretøy på veier med høyere hastighet



7. Kjenner du til kjøretøy for autonom varelevering?
8. Hvordan tror du de vil brukes av bransjen?
9. Hvilke bruksområder tror du vil bli mest relevante?
10. Hva vil måtte omorganiseres for å ta i bruk autonom varelevering (i de aktuelle områdene)?
11. Hva vil det kreve av
  - a. Infrastruktur (hub, vei, postkasser osv.)?
  - b. Bistand fra eksterne aktører (f.eks. kommuner)? Samarbeid?
  - c. Nye roller for de som jobber i bransjen (for eksempel erstatte andre funksjoner som sjåfører gjør i dag)? Ny kompetanse?
  - d. Endringer til reguleringer
  - e. Annet?
12. Er det funksjoner dere vil miste?
13. Hvordan kan autonome kjøretøy påvirke servicenivå for kundene?
14. Hva vil dere trenge for å kunne ta i bruk autonome kjøretøy?
  - a. Utstyr
  - b. Tilrettelegging
  - c. Teknologi
  - d. Informasjon
15. Kan autonome kjøretøy løse noen av utfordringene vi har diskutert? Hvordan?
16. Er det noe du mener vi burde tatt opp?
17. Kunne dette intervjuet blitt gjort annerledes?

## Vedlegg 4. Intervjuskjema brukt med bransjeaktører som deltok i feltstudien

*Følgende skjema ble brukt i et semistrukturerte intervju transportoperatøren. Samme spørsmål ble tilpasset avhengig av rollen til aktøren involvert i feltstudien (teknologiselskap, butikk osv.).*

1. Bakgrunn: kjønn, aldersgruppe og arbeidsgiver
2. Kan du si litt om din arbeidserfaring og nåværende stilling?
3. Hvordan er du involvert i piloten om autonom varelevering?
4. Hva har vært viktig for [navn på firma] i piloten?
5. Hva må gjøres når du/dere opererer roboten?
  - a. Kan du bryte det ned til 3-5 oppgaver?
  - b. Hva er viktig å tenke på når du gjennomfører disse oppgavene?
  - c. Hvilke av disse oppgavene er vanskeligst? Hvorfor?
6. Har du det du trenger for å gjennomføre oppgavene i samarbeid med roboten? Informasjon? Verktøy? Kommunikasjonsmidler?
7. Hvordan er det å interagere med roboten?
  - a. Er roboten enkel å bruke?
  - b. Er roboten forutsigbar?
8. Hvordan påvirker roboten arbeidet
  - a. på terminal
  - b. varelevering generelt
9. Hvilke utfordringer opplever du i piloten?
  - a. Fremkommelighet
  - b. Kommunikasjon
  - c. Sikkerhet
10. Hvem skal du kontakte ved utfordringer?
11. Ser du noen utfordringer for implementering av roboten på terminalen / gatene / henting osv.?
12. Hva tror du om fortausroboter som et transportmiddel for varelevering i fremtiden?

## Vedlegg 5. Fokusgruppeintervju med internasjonale fageksperter

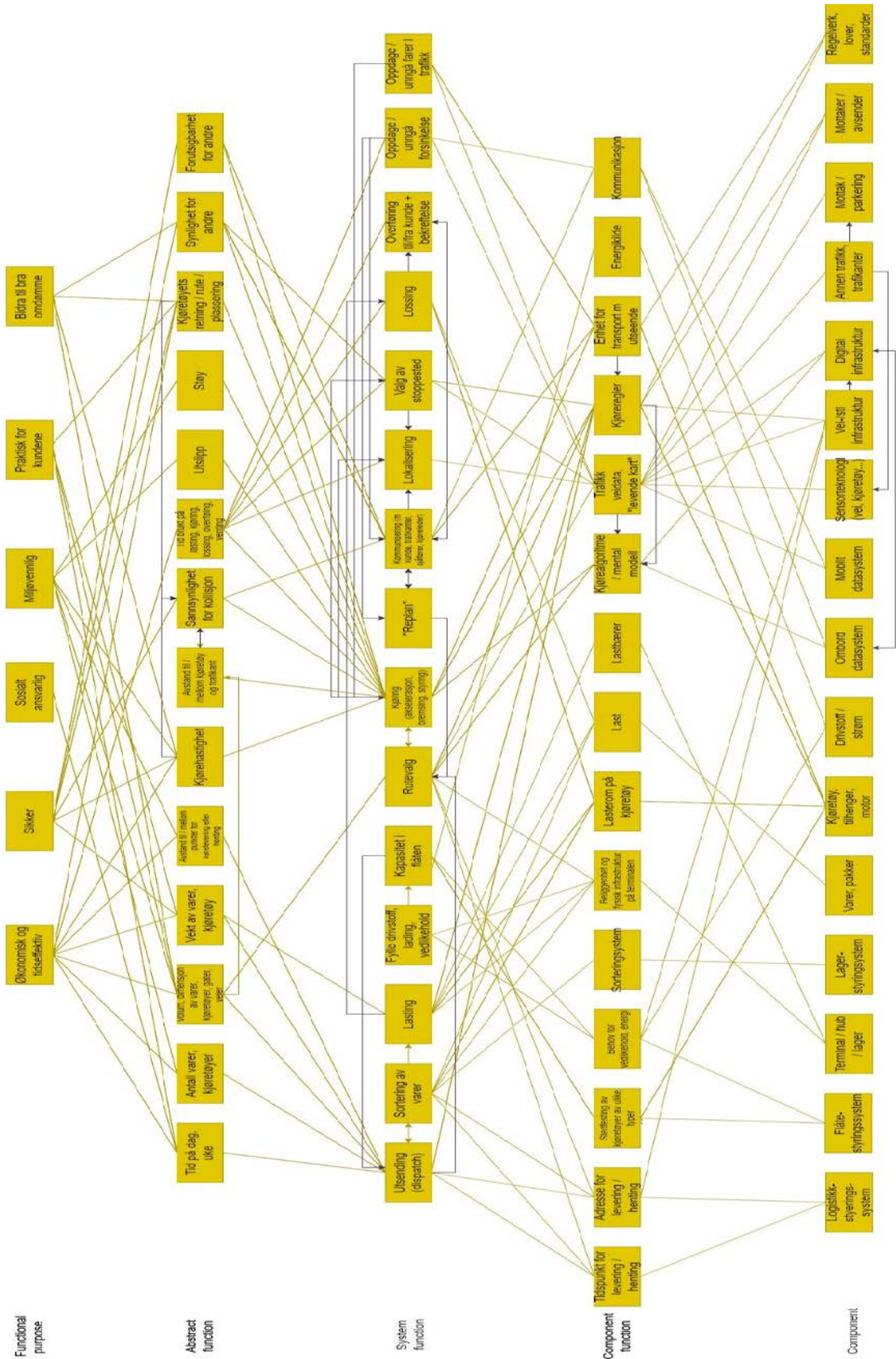
- Introduction to Autoby
- Ethics – naming?
- Who is here? (Employer and role)
- Aim of focus group:
  - o To better understand the opportunities, conditions and challenges for autonomous goods delivery in urban areas
  - o To map out the need for data, knowledge, and decision support
- Context: varelevering i by og autonome kjøretøy

### Spørsmål som guide for diskusjon

1. How will autonomous vehicles be used for goods delivery in the future?
2. What sort of vehicle technology is most likely to change the way goods are delivered in cities in 5-10 y? Longer?
3. Will changes to infrastructure would be required? What sort of changes?
4. How will other road users be affected? What will need to be considered?
5. Which parts of the supply chain are most suitable for automation?
6. How can use of autonomous vehicles in goods delivery affect traffic flow, emissions, TS, service levels
7. How could autonomous delivery affect the division of labor in distribution?
8. How can autonomous delivery change operating models in distribution?
9. Which challenges and possibilities will there be for implementation and operation of autonomous goods delivery?
10. How can autonomous delivery affect the organization of last-mile logistics, e.g., location of distribution centers and microhubs ("proximity points"), collaboration, use of route optimization and road/sidewalk infrastructure?
11. What other types of systemic changes will be necessary? Will there be accessibility problems on sidewalks, conflicts over the use of space, obstacles for road users, health problems, etc.?
12. What data and information are needed in order to better understand how autonomous goods delivery can impact cities in the future?

## Vedlegg 6. Varelevering i by: Systemanalyse

System: Levering av varer fra terminal til mottaker – transportbrukernes perspektiv



## Vedlegg 7. Erfaringer fra feltstudien

### 1 Innledning

Dette vedlegget oppsummerer observasjoner og tanker fra TØI-forskeres feltstudie av Postens test av vareleveringsroboter på Aker Brygge i perioden 14.11-15.12.2022.

Oppsummeringen av feltstudien består av 4 deler. Den første, innværende delen gir en introduksjon til Postens test på Aker Brygge (kapittel 1). Den neste delen presenterer selve observasjonene fra feltstudien (kapittel 2), deretter sammenstilles erfaringene for å trekke lærdommer og avdekke fordeler og ulemper med autonom varelevering og mulig utvikling over tid (kapittel 3). Del 4 oppsummerer erfaringer fra intervjuer med relevante aktører i pilotstudien I dette arbeidet har vi satt søkelyset på hvordan roboten fungerer i samfunnet, inkludert menneskelige interaksjoner.

### 2 Bakgrunn

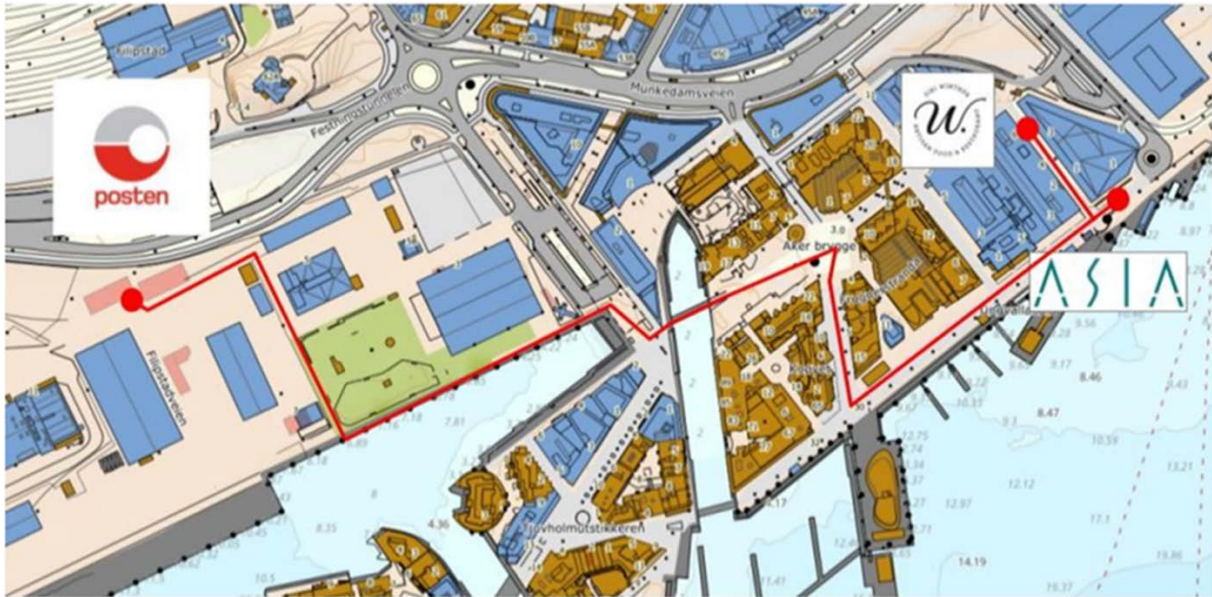
Posten Bring jobber kontinuerlig med nye transport- og logistikkløsninger for fremtiden. Dette inkluderer uttesting av ny teknologi, blant annet autonome kjøretøy. For å høste erfaringer om bruk av autonome kjøretøy i vareleveringen og forberede dets inntog, gjennomførte Posten Bring med flere en test av autonom varelevering på Aker Brygge. I forbindelse med AUTOBY-prosjektet finansiert av Statens Vegvesen og dokumentert i foreliggende rapport, fulgte TØI-forskere med på testen på Aker Brygge og noterte læringspunkter knyttet til mennesker, miljø og samfunn.

### 3 Gjennomføring og rute

Via plattformen Amoi leverer Bring Courier & Express (BCE) varer direkte til konsument fra (blant annet) Winther og Asia restauranter på Aker Brygge. Bring bruker som regel varebiler til denne transporten. I en testperiode skulle disse varebilene erstattes med vareleveringsroboter på delen av transporten som foregår på Aker Brygge.

Prosjektet gikk ut på at robotene, etter en uke med innkjøring og opptrening, skulle kjøre alene fra Postens mikroterminal på Oslo City Hub på Filipstad til restaurantene Winther og Asia, bli fylt med varer som var bestilt via Amoi for så å kjøre tilbake til Oslo City Hub for omlast til en varebil fra BCE og videre distribusjon til konsument. Se kart og rute i figur V7.1. Operasjonen ble til enhver tid overvåket og kontrollert av Holo, som via en operatør i København fulgte med at roboten overholdt sine leveringsforpliktelser og opererte i henhold til gitt kjøretillatelse.

Roboten kjørte på ukedager i henhold til tre tidsluker: en med opphenting rundt kl. 10, en med opphenting rundt kl. 12 og en med opphenting rundt kl. 14. Om det ble gjennomført en opphenting eller ikke var i stor grad avhengig av at det var varer som skulle hentes. Som regel ble det gjennomført 1 til 2 opphentinger fra Winther og/eller Asia per dag. Ca. halvveis i testperioden endret AMOI denne modellen og gikk fra tre opphentingsvindu per dag til et stort opphentingsvindu og direkteleveranser morgen og ettermiddag. Dette hadde liten praktisk betydning for antall hentinger med robot, som fortsatte rundt 1-2 hentinger per dag.



Figur V7.1: Kart og rute under Postens test av autonom varelevering på Aker Brygge i november-desember 2022.

#### 4 Roboten «Ottobot»

Prosjektet brukte to vareleveringsroboter levert av Ottonomy.io. Robotene var stasjonert på Oslo City Hub. Figur V7.2 viser bilder av roboten og forskerne Ross og Elise på Oslo City Hub.

Roboten har to luker til varer, hver luke kan ta flere koller avhengig av størrelsen på kolliene.



Figur V7.2: Roboten «Ottobot» med forskere utenfor Oslo City Hub.

## 5 Observasjoner

Torsdag 17.11.22

*Testdag: Dette var dag nr. 4, i testperiodens første uke.*

*Grad av autonomi: roboten er fortsatt under planlagt opptrening/tilvenning til ruten. Operatører fra Ottonomy.io følger roboten på ruten og overtar styringen manuelt ved behov.*

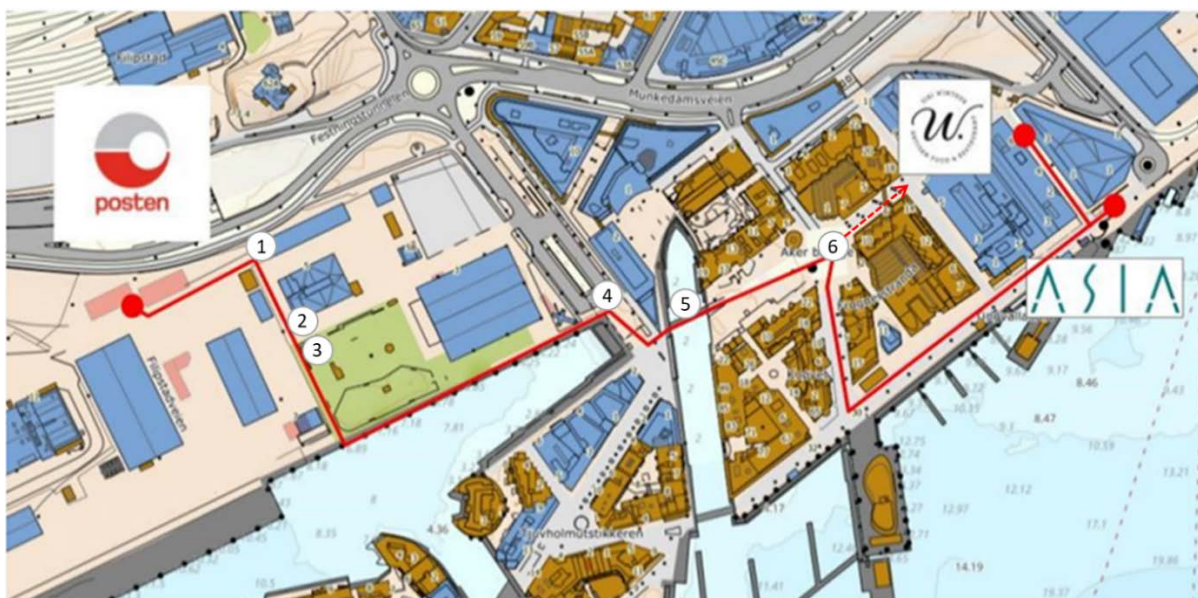
*Vær: opphold, 1.5 grader og vind.*

To TØI-forskere observerte opphenting fra Winther med leveringsluke 1115-1130. På grunn av kommunikasjonsfeil trodde Ottonomy.io at opphentingsluken var fra 1130-1145 og programmerte roboten til avgang fra Oslo City Hub kl 1055. Kl 1055 kjørte roboten fra huben med retning Aker Brygge.

Allerede tidlig på ruten bar kjøringen preg av å være i en tidlig testfase. Det var mange hindringer langs ruten hvor roboten enten må senke farten eller styres manuelt. De største utfordringene var:

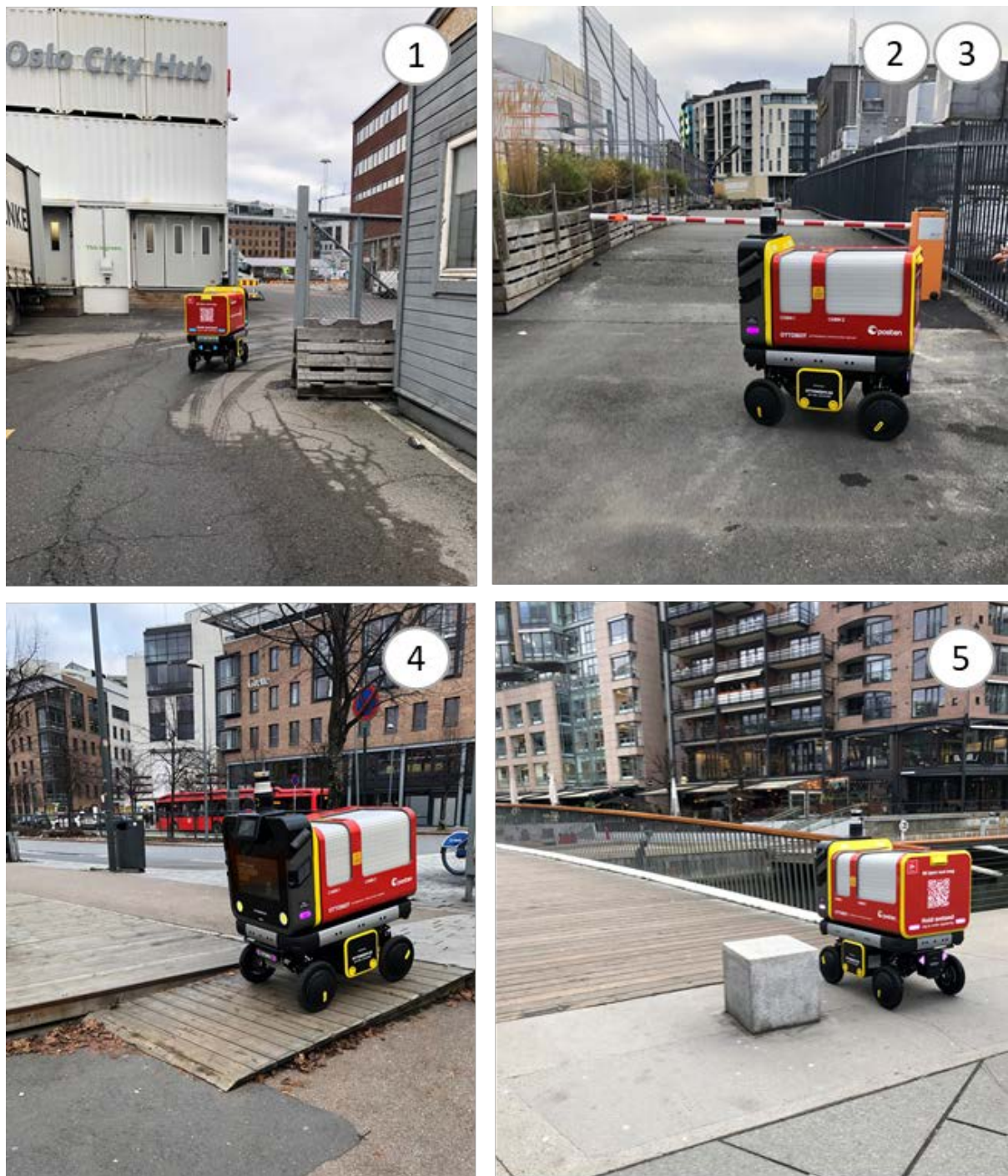
1. Risikoområde med hullete og ujevn asfalt, dårlig sikt i krapp sving og mye trafikk gjør at roboten kjører med lavere fart. Roboten klarer dette autonomt (kjører selv)
2. Automatisk bom som stenger veien og må åpnes av operatør via telefon.
3. Roboten overstyres manuelt i oppoverbakke etter automatisk bom
4. Smal rampe med helning krever manuell styring
5. Roboten overstyres manuelt på bro med helning

Se figur V7.3 for kart og markører for barrierene på ruten og figur V7.4 for eksempelbilder.



Figur V7.3: Kart over område, rute og markører for hindringer.





Figur V7.4: Eksempelbilder på utfordringer

Barrierene på ruten var tilnærmet lik begge veier (tur/retur). Disse utfordringene skal (etter hva vi ble opplyst om) kunne fikses med algoritmer (og kunstig intelligens), men dette må gjøres i flere runder med oppdateringer og gjennomkjøring/testing av ruten og var ikke på plass ennå.

Grunnet kommunikasjonsproblemer om tidsluke for opphenting av varer hos Winther var roboten for sent ute til opphentingsvinduet 1115-1130. Kl. 1117 gir operatøren beskjed om at roboten er forsinket til leveringsluken og må overstyres manuelt av Ottonomy.io. Roboten er da ved punkt 6. Manuell styring gjør at roboten kan avvike fra ruten og kjøre rett frem ved Bryggertorget og til Winther (stiplet rød pil). Faktisk rute er via Fjordalléen og Stranden opp til Winther og Asia (tykk rød strek).

Ved ankomst til Winther parkerer roboten på anvist plass (Figur V7.5). Overlevering av varer foregår uten problemer og roboten returner til terminal 11.20. Returen tar 30 minutter, men inntrykket var at det var mindre trøbbel med kjøringen tilbake fra Winther enn til.

På tilbakeveien kjører roboten veldig bra langs Aker Brygge og langs Oslo City Hub. Der har roboten hatt mange tester/gjennomkjøringer, men ingen store hindringer i veibanen (se figur V7.6).



Figur V7.5: Parkering hos Winther

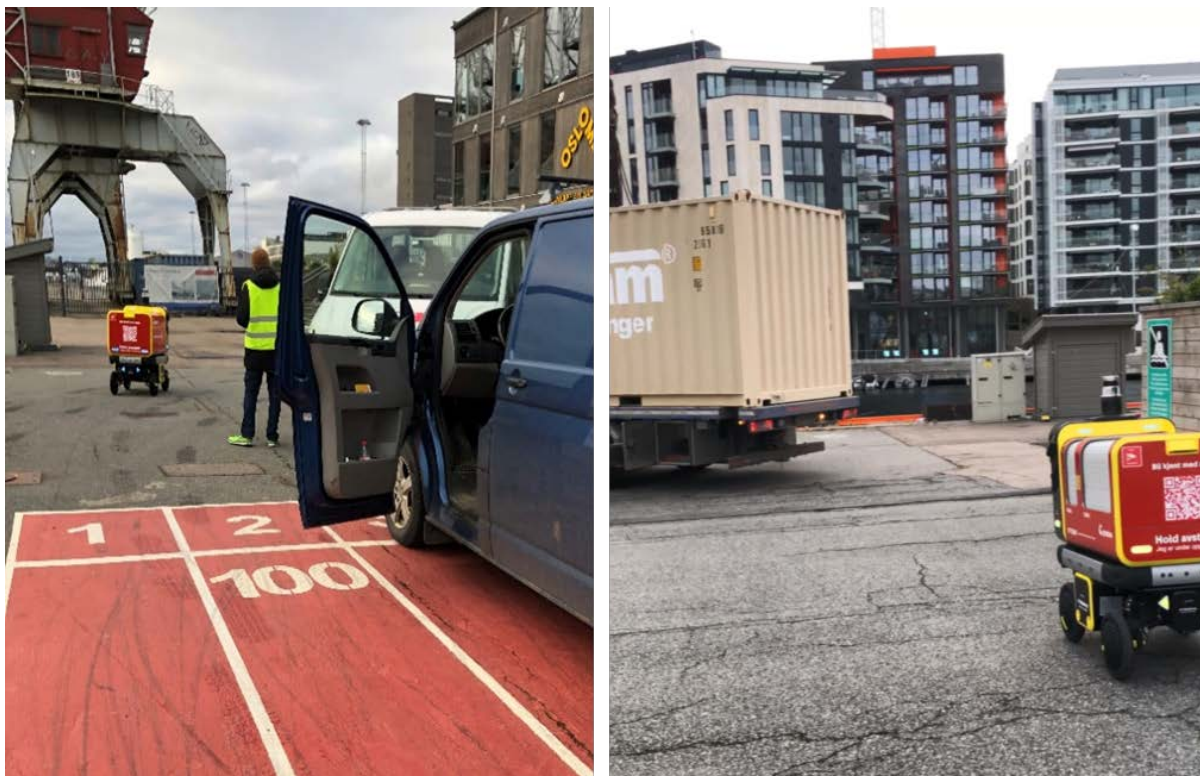


Figur V7.6: Roboten kjører selv.

I bymiljøet dukker det til stadighet opp uforutsette elementer og hendelser. Under denne, første observasjonen så vi to uforutsette hendelser (se figur 5):

1. En bil med container sto parkert midt i kjørebanelen og sperret veien ved vannkanten: roboten kunne ikke kjøre på planlagt rute og måtte overstyres manuelt for å finne en annen vei (også på grunn av kjøretillatelsen?)

2. Biler sto parkert langs ruten, men sperret ikke veien: roboten passerte disse parkerte bilene uten problemer



Figur V7.7: Uforutsette trafikkhendelser med parkerte kjøretøy som sperrer (deler av) veien

På tilbakeveien, ved innkjøringen til Oslo City Hub (figur V7.7 nr. 1) måtte en lastebil vente på at Ottobot hadde passert, og flyttet seg til siden i vegbanen før den kunne passere.

Overordnet gir ujevnt (og ukjent?) underlag hakkete kjøring med en rekke små start-/stoppbevegelser. Hakkete kjøring gjør roboten vanskelig(ere) å forutse, og det er to episoder hvor roboten nesten krasjer i en myk trafikant på grunn av dette.

Mandag 21.11.22

---

**Testdag:** Dette var dag nr. 6, i testperiodens andre uke.

**Grad av autonomi:** roboten er fortsatt under planlagt opptrening/tilvenning til ruten. Operatører fra Ottonomy.io følger roboten på ruten og overtar styringen manuelt ved behov.

**Vær:** lett snøvær og 0 grader.

---

Denne observasjonen er gjort på halve ruten, og inkluderer ankomst til Winther kl. 1200, lasting av mat og retur til terminal.

Roboten hadde utfordringer i snøværet. Overlevering av varer fra Winther var utfordrende fordi roboten brukte lang tid på å bli klar for mottak av varer, og lukene fungerte ikke optimalt ved åpning og lukking. De åpnet og lukket seg ved fysisk hjelp fra operatør.

Snøvær kompliserte fremkommeligheten og det virket som om sensorene hadde problemer i snøværet. Selv om deler av ruten forløp uten problemer, måtte roboten styres manuelt et par ganger

på strekningen i tillegg til de faste stedene (bro, rampe og bom som vist i figur V7.3 og figur V7.4). Figur V7.8 viser utfordringer på grunn av snøværet.



Figur V7.8: utfordringer med fremkommelighet (til venstre) og åpne/lukke luker for varer.

Fredag 25.11.22

---

**Testdag:** Dette var dag nr. 10, i testperiodens andre uke.

**Grad av autonomi:** Operatør fra Ottonomy.io går fortsatt ved siden av roboten og fjernstyrer (fra datamaskin) ved bom, rampe og bro

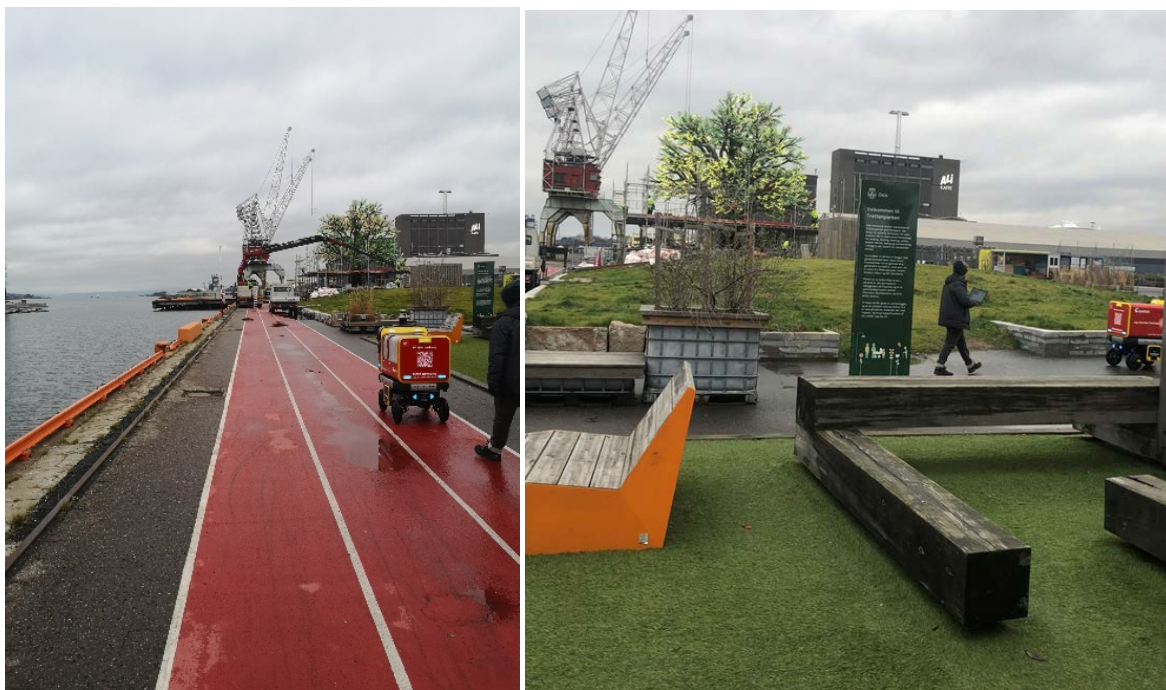
**Vær:** overskyet, 4 grader, lett regn i luften.

---

Observasjon av rute med opphentingsvindu hos Winther rundt kl. 1200. Ottobot kjørte fra Oslo City Hub kl. 1130 og ankom Winther 1155. Ansatt kom ut med varene kl. 1200, og roboten returnerte til Oslo City Hub kl. 1203.

Ved denne gjennomkjøringen var det generelt mye jevnere kjøring enn ved forrige observasjoner. Roboten hadde ikke utfordringer med været og virket å være godt trent på ruten. Kjøring til og fra Winther og opphenting fungerte fint.

Under denne observasjonen så vi flere uforutsette hendelser. Igjen var veien ved kaien sperret (denne gangen på grunn av arbeider med en kunstinstallasjon) som presset frem manuell styring via en omvei (se figur V7.9).



Figur V7.9: Kjøretøy blokkerer veien. Ottobot må kjører utenfor ruten.

På to steder på turen måtte andre trafikanter vente på Ottobot. Ved rampen i enden av Filipstadveien (se figur V7.4 nr. 4) måtte 2 rullestolbrukere vente på at Ottobot ble styrt ned rampen før de kunne bruke den selv. Ved innkjøringen til Oslo City Hub (figur V7.4 nr. 1) kom en varebil fra Schenker kjørende i motsatt retning og møtte Ottobot i svingen. Begge kjøretøyene stanset, og det ble en «stand off» i påvente av at operatøren fra Ottonomy.io fikk tatt over styringen, rygget Ottobot og sluppet forbi bilen fra Schenker. Se figur V7.10 situasjonsbilder.

Det virket som om Ottobot tidligere enn før oppdaget og svingte unna mennesker. Vi anslår at Ottobot på rundt 20 meters avstand oppdaget mennesker og straks etter begynte å kjøre litt til siden for å unngå dem (ved hjelp av maskinlæring og LIDAR). Samtidig er det vanskelig ved hjelp av observasjon å skille hvilke bevegelser som skyldes programmering/maskinlæring av rute og videre en normal bevegelse på ruten og hva som skyldes at Ottobot har lest bybildet og tilpasset seg det.



Figur V7.10: Ottobot hindrer andre trafikanter.

Dagens observasjon ble komplementert med en telling av trafikanter som passerte innenfor ca. 4 meter fra Ottobot. Vi telte 118 trafikanter innenfor 4 m, 62 på vei ut til Winther, 56 på vei tilbake. Nesten alle var fotgjengere (2 el-sparkesyklistere). Det var ingen indikasjoner på at folk frykter Ottobot. Tvert imot var det stor interesse for roboten, mange smilte, pekte og tok bilder. En person tok på roboten.

Ottobot bråstanset 7 ganger (totalt på turen) fordi en eller flere fotgjengere kom for nære, det vil si nærmere enn 40 cm, vanligvis foran roboten. At Ottobot stanser i slike tilfeller er i henhold til innstillingene. Fire av disse 7 stansene var nærhendelser, dvs. at vi vurderer det som en sannsynlig kollisjon hvis ikke Ottobot hadde stanset. I alle tilfeller fortsatte fotgjengerne som hadde kommet innenfor 40 cm å gå tilsynelatende ubekymret videre: De stoppet ikke opp og det virket ikke som om de tok noen særlig notis av nærhendelsen: de virket verken irritert eller overrasket. En av fotgjengerne var i en samtale med turfølgert, en annen så på telefon sin.

Torsdag 08.12.22

Roboten var satt opp med to hentinger denne dagen, en med avgang fra Oslo City Hub ca. 1130 (til Winther) og en med avgang fra Oslo City Hub ca. 1330 (til Asia).

---

*Testdag: Dette var dag nr. 19, i testperiodens fjerde uke.*

*Grad av autonomi: Ottobot kjører stort sett selv, med unntak av rampen ved Filipstadveien/Tjuvholmen Tunnel hvor det fortsatt er behov for manuell styring.*

*Vær: lett snøvær og -5 grader.*

---

Siden tirsdag 06.12 har roboten kjørt ruten (nesten) helt alene. Operatøren fra Ottonomy.io har gått sammen med roboten til rampen ved Filipstadveien/Tjuvholmen Tunnel hvor det fortsatt er behov for manuell styring (se punkt 4 i figur V7.3 og figur V7.4). Tidligere utfordringer som bom og bro over til Aker Brygge er automatisert. På Aker Brygge har Ottobot kjørt selv og alene. Dette var også planen torsdag 08.12.

**Henting nr. 1 (planlagt avgang til Winther 1130):** Avgang fra hub 1135. Starter med at Ottobot kjører feil vei. I stedet for å kjøre den vanlige veien ut av huben, kjører den inn i inngjerdet område (se bilde til venstre). Innenfor gjerdet er roboten i veien for varebiler som skal inn på området. Disse må kjøre rundt roboten. Roboten blir hentet tilbake til start og får ny avgang 1140. Se figur V7.11 bildet til venstre.



Figur V7.11: Ottobot kjører feil og tidvis ganske vinglete.

Etter avgang 1140 fra hub kjører roboten i sakte fart og med noe hakkete kjøring. Det virker som om det er snø på sensorene. Operatøren fra Ottonomy.io tørker av disse og roboten kjører igjen i fin flyt.

Roboten har få problemer på ruten frem til Aker Brygge. Et unntak er at den stopper ved en rist som skal håndtere overvann/regnvann. Etter kort ventetid kjører roboten igjen. Det var ingen fysiske interaksjoner mellom operatør og robot, og forskerne konkluderte med at Ottobot hadde kontakt med Holo, som vurderte situasjonen og ga klarsignal til å kjøre. I tillegg til stopp ved risten ble Ottobot styrt manuelt over rampen mellom Filipstadveien/Tjuvholmen Tunnel, som planlagt. På Aker Brygge hadde roboten et par stopp med ukjent årsak, en av disse i en sving. Den klarer renner for regnvann fint, men virker noe ustødig når den kjører over disse. Langs en rett strekning på Aker Brygge virker Ottobot å holde høyere før den går over i nokså svingete kjøring uten at dette skyldes mennesker eller andre hindringer (se spor i snøen på bildet til høyre i figur 2.8). På tilbaketuren svingte Ottobot unna et stort hull i veien (ved innkjøringen til Oslo City Hub).

Roboten ankom destinasjon Winther kl 1206, ansatt kom ut 1210 og avgang fra Winther 1212. Ankomst Oslo City Hub 1235.

Også denne dagen ble det gjennomført tellinger av trafikanter som passerte innenfor ca. 4 meter fra Ottobot. Det var middels trafikk på Aker Brygge rundt kl. 12 torsdag 08.12.22 og totalt 105 trafikanter som passerte roboten med en avstand på 4 meter eller mindre. Av disse var det 4 (el)syklister, 1 (el)sparkesyklist og 2 biler. Resterende trafikanter var fotgjengere. Det var mange som viste interesse for roboten, filmet og viet den oppmerksomhet. Det virket å være flere som syns det var morsomt med en selvkjørende robot enn ved tidligere observasjoner (når roboten ble ledsaget av operatør).

Trafikantene virket ikke redde for Ottobo. Det var få som viker unna, men en god del holdt litt avstand. Blant de som var innenfor 40 cm var det tre hendelser hvor enten robot eller trafikanter måtte bremse brått. To av hendelsene var at Ottobot måtte bremse for å ikke kjøre på en uoppmerksom trafikanter som kom for nære, mens den tredje hendelsen var at en syklist måtte bremse brått for å unngå å krasje i roboten som begynte å svinge i retningen syklisten kom syklende.

### **Henting nr. 2 (planlagt avgang til Asia kl 1330):**

Posten har 2 roboter på huben og bytter som regel robot mellom hver tur. Det betyr at det var forskjellige roboter på første og andre henting. Det var ikke snøvær, men et tynt lag av snø (<1cm) hadde samlet seg på bakken.

Avgang fra hub kl.1347. Roboten kjørte problemfritt frem til rampen, men hullet (noe overraskende) til høyre på en rett strekning langs vannet (se bilde til venstre i figur 2.9). Roboten kjørte fint over noen rister i bakken brukt til drenering. Ved rampen hadde operatøren problemer med å overta kontrollen for å kjøre opp rampen manuelt. Roboten måtte få en omstart. Etter omstarten ville ikke skapene lukke seg og operatøren måtte dra og riste på skapdørene for å få dem til å fungere. Når roboten igjen var klar for avgang klarte den ikke å kjøre opp rampen som var blitt glatt i snøværet. Roboten trengte hjelp i form av dytting for å komme opp (se bilde til høyre i figur V7.12).



Figur V7.12: Roboten vinglekjører og må dyttes opp rampen.

Resten av turen på vei til Asia gikk stort sett fint. Utenfor Asia restaurant sto en heisekranbil for vindusvaskere. Roboten klarte helt fint å kjøre rundt den og tilpasset seg de trange forholdene på fortauet med flere fotgjengere innenfor 40 cm avstand (se figur V7.13).

Roboten kom til Asia kl. 1422 hvor ansatte sto klar og kom ut med varene med det samme. Plassering av varer i roboten gikk fint, men skapene ville ikke lukke seg ordentlig igjen. En av de ansatte forsøkte å løse problemet, men virket tydelig rådvill. Etter flere minutter oppdaget hen en av forskerne som sto og observerte, og ba om hjelp. Sammen fikk de lirket på skapdørene slik at de lukket seg og roboten kunne kjøre videre.

På tilbaketuren klarte roboten seg fint på det trange fortauet forbi heisekranen, men det oppstod et usynlig problem utenfor Olivia restaurant og roboten stanset brått. Etter en kort pause startet roboten å kjøre, før den igjen bråstanset noen meter senere. Det var veldig få fotgjengere og ingen hindringer i veien på strekningen. Roboten startet og stoppet flere ganger og brukte svært lang tid på de neste 50 meterne. Observasjonene ble avsluttet kl. 1442 etter at det var tydelig at roboten ikke ville kjører videre uten hjelp.



Figur V7.13: roboten passerer vindus-vaskekran på Aker Brygge

Det var færre trafikanter på Aker Brygge ved andre henting, i 14-tiden, enn kl 12. Totalt 72 trafikanter (alle fotgjengere) ble registrert, hvorav 11 respondenter gikk nærmere enn 40 cm fra roboten. Roboten måtte bremse brått et par ganger, først da en fotgjenger tok igjen og passerte rett foran roboten, deretter igjen da en fotgjenger passerte på tvers rett foran roboten. Sistnevnte ga ikke uttrykk for å ha sett roboten. To ganger sto grupper på 3-4 personer og ventet på roboten, som sakkert farte da den nærmet seg gruppene. En fotgjenger var interessert i å teste egenskapene til roboten og stanset et stykke foran roboten. Da roboten prøvde å kjøre rundt flyttet hen seg for å stå foran den igjen. Roboten kjørte saktere og saktere mot fotgjengeren og stoppet til slutt helt opp. Fotgjengeren flyttet seg etter noen sekunder og roboten kjørte videre.



## 6 Erfaringer og lærdommer

### 6.1 Hvordan fungerer roboten?

Klarhet i hvordan roboten fungerer har ikke vært formålet med denne feltstudien, men vi har likevel forsøkt å få et innblikk i dette og beskrive vår oppfatning av teknologien. Dette kan gi en forståelse av hvordan mennesker uten inngående kjennskap til roboten oppfatter den når de møter den i trafikken.

Under testperioden styrer Ottonomy.io roboten manuelt (via PC eller konsoll) ved behov og programmerer endringer. Når roboten kjører selv, avhenger farten av om det er objekter i nærheten av roboten eller ikke. Ingeniøren fra Ottonomy.io fortalte om 3 soner som er avgjørende for farten og robotens atferd:

- 1) Innenfor 0,4 m: full stans
- 2) Innenfor 1-1,5m: kjører i maksimalt 3,6 km/t
- 3) Innenfor 4 m: kjører maksimalt ca. 7 km/t

Vi erfarte at 4 meter er en ganske stor sikkerhetssone, og medførte at roboten som regel kjørte rundt 3,6 km/t ettersom det nesten alltid var objekter (vegger, trafikanter, ingeniører, forskere) under 4 m fra Ottobot.

Roboten må trenes opp på ruten. Roboten blir «kjent» med ruten ved hjelp av:

- Koder fra programmerer (ottonomy.io): tilpasser kodene kontinuerlig slik at de tar høyde for det ytre miljøet roboten kjører i (hindringer og barrierer, risikoområder, kvalitet på underlaget, ... )
- Kunstig intelligens og maskinlæring: lærer av erfaringer i bymiljøet ved hjelp av eksponering, for eksempel konflikt med medtrafikanter.

Opptreningen gjøres av robotleverandøren Ottonomy.io, og innebærer å kjøre ruten til algoritmene «kjenner» den godt nok til at roboten kan gjennomføre ruten alene. Når LIDAR eller de andre sensorene «ser ting de ikke skal», stopper roboten opp, noe som kan forårsake humpete/stopp-start kjøring. I slike tilfeller må ingeniørene fra Ottonomy.io gå inn i programvaren, se på dataene og endre koden. Endringer som gjøres på koden må også testes, for de kan igjen skape uventede og uforutsigbare effekter på andre områder av robotens atferd.

Maskinlæring er en del av robotens programvare. Det brukes blant annet for å hjelpe roboten til å predikere trafikantatferd. Vi mener å ha observert en forbedring i hvordan roboten reagerer på møtende fotgjengere, noe som kan skyldes maskinlæring. Informasjon som læres til en robot, kan overføres til andre roboter og slik oppnå stordriftsfordeler.

Holo er en sentral aktør i prosjektet. De var involvert i å sette opp prosjektet, importere kjøretøy, oppsett og integrering med Ottonomy sin plattform, og har ansvaret for driften av robotene. Drift innebærer å operere flåten (som består av 1-2 roboter), holde styr på at roboten(e) er der de skal være i henhold til avtalte hentevinduer og følge opp eventuelle hendelser, blant annet ved å monitorere kjøretøyet via Ottonomy sin supervisionplattform. Ottonomy og Holo kommuniserte stort sett gjennom supervisjonplattform og kun unntaksvis over telefon -- Holo klarte å følge med på tilstand og bevegelse til roboten via GPS + kart og gjennom kameraene til Ottobot på supervisionplattformen. Det måtte ringes fra teststedet for å åpne bommen. Dette gjennomførte trolig Holo, i tillegg til å kommunisere robotenes posisjon til partnerbutikkene og BCE. Dette gjorde de med utgangspunkt i informasjonen de kunne følge med på supervisionplattformen. Når robotene opererer selv, det vil si autonomt, er det tenkt at Holo vil følge operasjoner fra København, gjennom kameraer, GPS + kart, for å sikre at robotene er i rute. Ved forsinkelser, vil Holo kommunisere med BCE og Amoi. Det er foreløpig uklart om det er tenkt at robotene også må fjernstyres lokalt, med f.eks. operatører som sitter i OCH, jf. kontrollstruktur. (Det var hele tiden et mål og ønske fra både Posten og Holo at robotene skulle kun monitoreres via supervisionplattformen

og kunne fjernstyres remote, dvs. enten fra København eller fra OCH, men muligheten for dette ble ikke levert før testperioden var ferdig.)

Deler av verdiforslaget til autonome kjøretøy er at en operatør kan fjernstyre flere roboter samtidig. Antallet avhenger av det ytre miljøet roboten kjører i: jo mer komplisert miljø, jo færre roboter kan styres per operatør.

Det ytre miljøet påvirker robotens fremkommelighet. Det var flere hindringer på ruten og spesielt utfordrende var en rampe i enden av Filipstadveien. Denne rampen var for smal til at roboten kunne kjøre der selv.

Huller, humper og dumper i veien (se figur V7.14) klarte Ottobot forholdsvis greit. Ottobot kjørte rundt sluk og snirklet seg noe ustødig over oppsamlingsrenner for regnvann.



Figur V7.14: Utfordringer i trasséen som Ottobot klarte fint.

Flere ganger, særlig i regn/sludd og snø, stoppet Otto opp tilsynelatende uten grunn. Teknikeren som gikk med rensed sensorene. Dette virket tilsynelatende å løse problemet.

**Foreløpig konklusjon:** roboten er veldig lite fleksibel. Det kreves store investeringer for at roboten skal bli autonom på en gitt rute. Autonomi på en gitt rute betyr ikke autonomi på en annen rute, selv ikke en tilstøtende en.

Roboten bruker mye lengre tid enn planlagt på å lære seg å manøvrere alene på ruten.

Observasjon: Ottonomi nevnte tidlig i testperioden at de skulle be om at rampen ble endret (utvidet) slik at roboten kunne kjøre på den. Dette er et eksempel på hvordan roboten kan begynne å endre/skape gatemiljøet rundt seg. Infrastruktur som er gunstig for fotgjengere (for eksempel pullerten midt i veien til broen som hindrer for biler eller syklistene i fart), kan by på utfordringer for roboten. Hvis endringer må gjøres, skaper det ulemper for fotgjengere? Eller kan det være en mulighet til å sette mer press til å forbedre infrastruktur til fordel for f.eks. rullestol brukere?

## 6.2 Hvilken rolle fyller roboten?

## Hvor leverer vi lokalt i Oslo?

AMOI leverer til de fleste adresser og postnummer i Stor-Oslo med fraktpris fra og med 39kr.

### Sone 1 - Oslo

For deg som bor eller vil sende ordre til adresser i Oslo har vi følgende leveringstilbud:

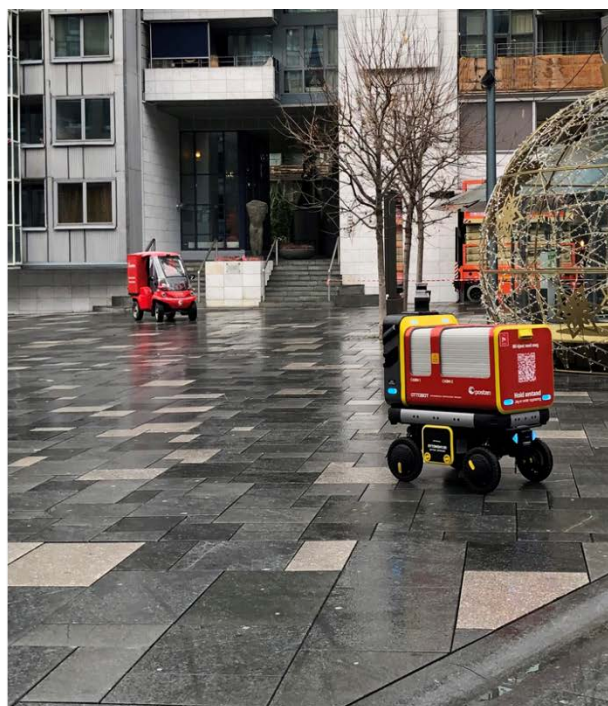
Mandag → Fredag	Lørdag	Lørdag → Søndag
07:00-09:00 (Ekspress)	09:00-11:00 (Ekspress)	15:00-18:00
10:30-12:30 (Ekspress)		
16:00-18:00		
16:30-18:30 (Ekspress)		
18:00-20:00		

Figur V715: Eksempel på leveringstilbud fra AMOI.

Roboten kjører for BCE, så mulig den fyller en rolle som ikke allerede er fylt, men spørsmålet som presser seg frem er om tjenesten roboten fyller kunne blitt løst ved hjelp av allerede eksisterende kjøretøy i området eller om noen av oppgavene roboten ikke klarer (som lastning/lossing) kunne blitt gjort av sjåføren i varebilen eller i Paxteren?

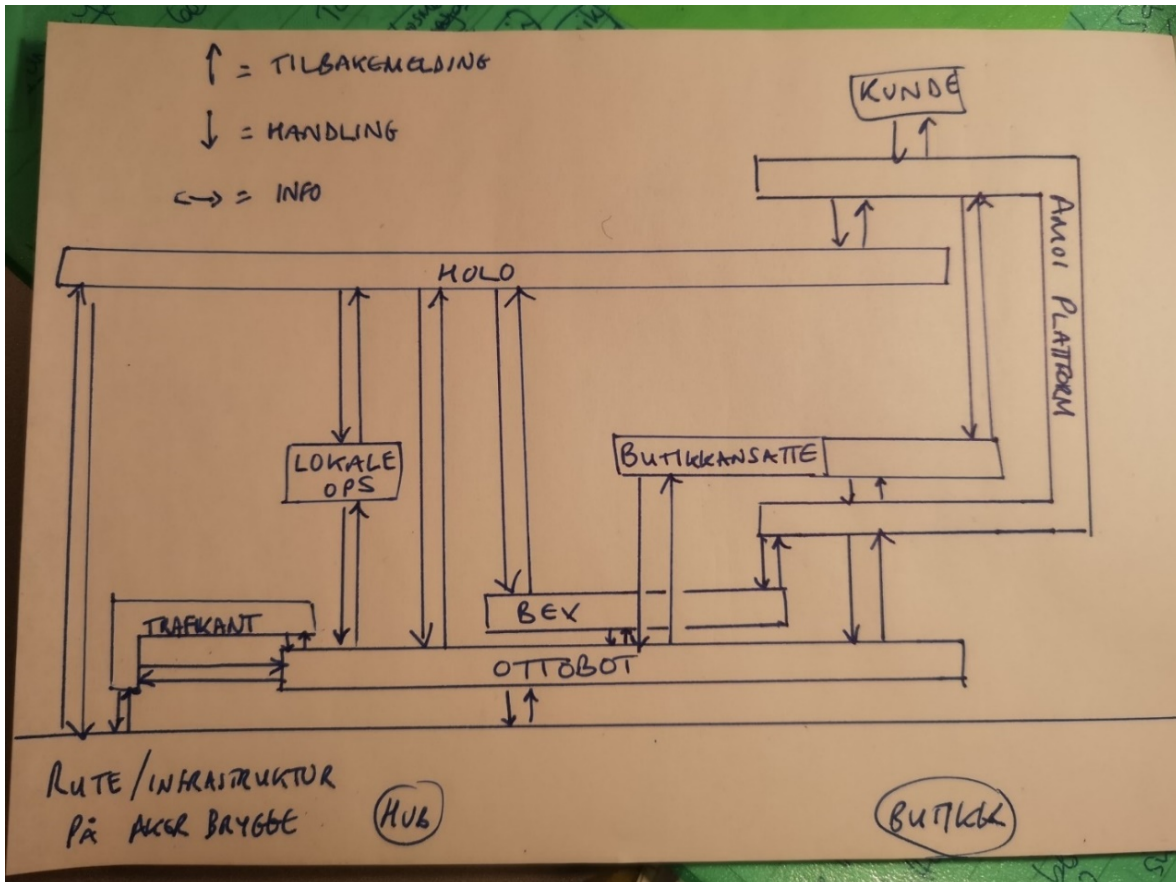
AMOI tilbyr varer fra lokale mat- og delikatessebutikker samt restauranter og kafeer i Stor-Oslo, men også andre deler av landet. De har ulike leveringstilbud i løpet av dagen og leveringene (se figur for et eksempel på leveringstilbudet i Oslo). Ottobot ble satt inn i eksisterende drift for å levere deler av tjenesten istedenfor Bring Courier & Express (BCE). Ottobot hentet varer fra restaurantene Asia og Winther og fraktet varene til Oslo City Hub for overføring til BCE. BCE kjørte varene til terminalen på Alnabru hvor det ble omlastet for utkjøring til kunde.

Flere ganger ble det observert andre kjøretøy fra Posten på Aker Brygge på samme tidsrom som Ottobot. Under den andre observasjonen (dag 6), ca kl 12.00 var det to andre kjøretøy fra Posten på Aker brygge i tillegg til roboten (se



Figur V7.16: Posten er i aller høyeste grad til stedet på Aker brygge (venstre: Kl. 12.00 (ca.) - 5 minutter før roboten ankommer, høyre: kl. 12.20 (ca.))

Vi må finne ut om kontrollstrukturen – jf. forsøk under. Hvordan vil problemer som oppstå lokalt håndteres av de som fysisk er til stede? Bli det operasjonssenter på huben – hvordan blir samspill med Holo? Vi så tegn på at kontroll fra avstand kunne være en utfordring for eksempel vi så at Holo ringte for å spørre om hvilken av to Ottobotene som ble brukt under testing skulle være i rute.



Figur V7.17: Forskeres forståelse av kontrollstrukturen for operasjoner i testperioden.

### Menneskelig interaksjon

#### Trafikanter

Roboten skapte entusiasme blant flere fotgjengere på Aker Brygge. Mange var interessert i roboten, fulgte den med øynene og lurte på hva den gjør på Aker Brygge, hvordan den fungerer og formålet med roboten. Noen gikk veldig nærme roboten, og vi så en sparkesyklist som syklet veldig tett på (innenfor 40 cm). Trafikantene virket ikke redde for roboten, og viste i stor grad tillit til teknologien (merk at de som regel så Ottonomi og forskere i nærheten av roboten). Samtidig viker flere fotgjengere og en bilist litt unna når roboten kommer kjørende (dvs. de tilpasser seg roboten). Det kan være lurt. Ved første observasjon (dag 4) virker det ikke som om roboten flyttet seg for møtende, bevegende objekter, hverken for biler eller myke trafikanter. Ved tredje observasjon (dag 10) virker det derimot som om roboten i større grad forutså og styrte unna menneskegrupper og andre hindringer den oppdaget i god tid.

Når roboten kommer for nærme objekter (fotgjengere, parkerte biler og liknende) stopper den. Humpete/stopp-start kjøring så ut til å forvirre fotgjengere som gikk forbi. Rullestolbrukere måtte vente på Ottobot ved rampe. Burde myke trafikanter måtte vike

eller vente på autonome kjøretøy som bruker infrastruktur ment for gående og syklende?

**Ekstern HMI.** Ottobot hadde lys med farger for å indikere hvilken modus den opererte i (blå lys = autonom, gule lys = «klar», lilla lys = manuell operasjon). Disse fargekodene betyr lite for trafikantene. Det finnes forskning på såkalt e-HMI (*external human-machine interaction*) der trafikanter eller menneskelige operatører kan få informasjon fra roboten om for eksempel «jeg har sett deg», «jeg skal til høyre», «jeg kjører fremover», «jeg bremsar».

#### *Ved levering*

Ved opphenting av varer lager roboten mye lyd. Den gir fra seg en plingende lyd fra den er klar til å ta imot varer til varene er lagt i en av de to lukene. Når dørene til lukene lukkes repeteres «About to close door» 6 ganger. Dette kan endres.

Interaksjonen med brukere, det vil si butikkansatte hos Winther og Asia og sjåfør hos BCE, virker å være uproblematisk, men krever en kort opplæring. I korte trekk går det ut på at:

1. Person åpner lukene ved hjelp av en QR-kode i app som scannes mot robotens panel/skjerm
2. Person leverer/henter varen i en eller begge lukene
3. Person lukker lukene ved å trykke på robotens panel/skjerm (samme skjerm som i pkt. 1)



Figur V7.18: Til venstre: «Enklere blir det ikke» (17.11.22). Til høyre: venting i snø og vind (21.11.22).

Butikk-/restaurantansatte må ut av butikken for å levere varer i roboten. Det må de ikke når de bruker Bring Courier & Express. Når alt fungerer og været er godt er dette «enkelt», men ved utfordringer eller dårlig vær virker løsningen suboptimalt for

#### «Enklere blir det ikke» - Butikkansatt (Winther)

restaurantarbeideren. Under noen av observasjonene har vi sett at lukene ikke lukker seg ordentlig etter at varene er levert. Ottobot kjører ikke videre før lukene er lukket. De som håndterer varer bør derfor kjenne til slike svakheter og hvordan løse dem.

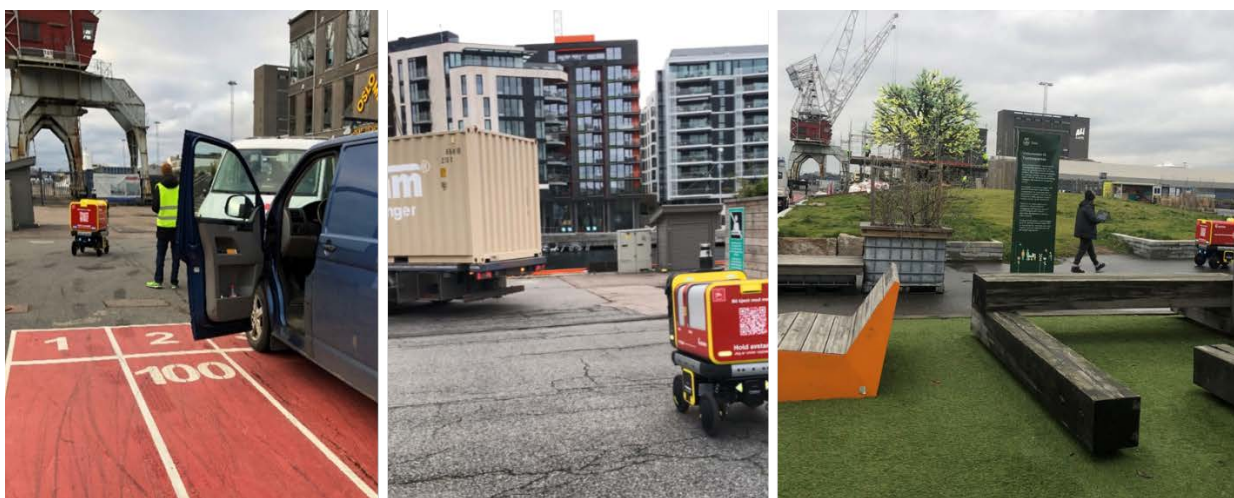
Ansatt på Winther testet bruk av pinkode istedenfor QR-kode for å få tilgang til lukene i roboten. Dette er greit å ha som en alternativløsning dersom QR-koder ikke fungerer. Testen gikk helt ok.

#### *Tilbake på huben*

Overføring til BCE fungerte fint alle ganger vi observerte overføringen, men det var alltid noen til stede og passet på at det gikk riktig for seg. Vi har derfor ikke fullgode observasjoner av hvordan denne overføringen ville fungerte i en situasjon hvor alt var helautomatisk og utfordringer håndteres «out of site».

### Uforutsette trafikale hendelser

Det var flere uforutsette trafikkhendelser som hindret roboten i å kjøre langs avtalt rute. På Dag 4 og dag 10 var deler av traseen stengt. Dag 4 stengte en container traseen (se figur V7.19 bildet i midten), mens det dag 10 var arbeider i forbindelse med en installasjon (treet på bildet til høyre i figur 3.3) som var årsaken til at roboten ikke fikk kjøre langs ruten. Roboten måtte kjøre omveier og ble da styrt manuelt av Ottonomy. Dette innebærer både at roboten kjører utenfor avtalt område, men også økt bruk av ressurser ved at roboten får «en sjåfør». Kunne et bud/en sjåfør bedt lastebilen om å flytte seg og slik unngått problemet? En annen gang var området delvis sperret av to biler som sto parkert på kanten av vegen (se figur 3.3 bilde til venstre). Dette var ikke til hinder for Ottobot, som svingte utenom de to bilene og fortsatte på ruten sin som om ingenting hadde hendt.



Figur V7.19: Uforutsette hendelser: parkerte biler i og på siden av ruten

Roboten ble flere ganger hindret av objekter i vegbanen og nødt til å kjøre omveier. Slike omveier var utenfor godkjent rute og krevde manuell styring.

Under den tredje observasjonen (dag 10) møtte roboten en Schenker-lastebil på vei inn til Oslo City Hub. Begge kjøretøyene stanset, og ble stående i konflikt i påvente av at operatøren fra Ottonomy.io fikk tatt over styringen, rygget Ottobot og sluppet frem bilen fra Schenker. Verken Ottobot eller Schenker-sjåføren så ut til å ha full forståelse av og kontroll over situasjonen. Vi spurte operatøren fra Ottonomy.io om hva som ville skjedd dersom ikke hen var til stede for å rygge Ottobot. Hen svarte at roboten ville stanse for så å vente 1-2 minutter før den ga signal til veileder (supervision) om at den sto fast/var i en konflikt. Veilederen (her: Holo) ville så overta og rygge roboten manuelt via fjernstyring. Konsekvenser av et slikt oppsett ville i dette tilfelle vært at Schenker-kjøretøyet måtte vente i 1-2 minutter uten noe kunnskap om hvordan Ottobot reagerer på situasjonen.

Det virker som om problematiske utforutsette hendelsene oppstod på samme sted. I tillegg til blokkert kjørebane langs kaia var rampen ved Filipstadveien (tidvis) et stort problem. Vi stiller derfor spørsmålet om dette er en lærdom, og om en bør ta seg god tid til opplæring og være oppmerksomme på at det gjerne oppstår noen problemområder som må løses permanent. Spørsmålet er om man kan og vil lage løsninger som endrer gateutformingen, eller om man må akseptere at det er noen problemområder på ruten som behøver ekstra ressurser. Ideelt burde man kanskje lagt ruten utenom problemområdene, men det er kanskje ikke så lett å vite hva som er et problemområde før man har testet ruten?

Snøvær var en utfordring ved flere anledninger. Sensorene reagerte på snøfnugg som en hindring og hjulene hadde problemer med helninger på glatt føre.

#### *Utvikling over tid*

Roboten fungerer og har store forbedringer i fremkommelighet og interaksjon med trafikanter fra første (dag 4) til siste (dag 19) observasjon, men selv på dag 19 av testen var det overraskende

Når autonome kjøretøy fungerer, fungerer det godt, men teknologien utfordres i nye situasjoner og viser seg gjennomgående som svært lite fleksibel

mange utfordringer. Vi endte til slutt opp med å avbryte observasjonene fordi roboten ikke kom seg frem på ruten. Vi kjenner ikke årsaken til at roboten sluttet å fungere ved vår siste observasjon, men mistenker at det skyldtes været. I tidligere dialoger med operatør, ble det sagt at Ottobot lærer av alle situasjon og når den har opplevd og fått programmert inn en situasjon vil den gjenkjenne samme situasjon neste gang og kunne håndtere det. Utfordringen med dette er at bybildet er komplekst med mange ulike trafikanter, kjøretøy og værforhold som hver for seg og i kombinasjon kontinuerlig lager nye situasjoner. Vi tolker den lange innkjøringstiden til Ottobot som at autonome kjøretøy (per i dag) trenger mer innkjøring/tilvenningstid enn man har tatt høyde for, men at det gradvis bedrer seg med mer erfaring.

### **7 Notater fra intervjuene**

Avsendere:

- Mange matvarer krever kjølekjede, dette må også være på plass ved et autonomt kjøretøy.
- Peker på ekstratjenester fra sjåfører: noen henter varene i kjøleskapet/der varene oppbevares mellom pakking og henting, sjekker antall poser (et ekstra ledd som kvalitetssikrer bestillingene), selve overleveringen av poser tar mer tid og er mer uforutsigbar på grunn av teknologien med åpne/lukking av luker.

Fordel (systemet):

- roboten kommer til samme tid hver dag – har en fast slot - dette er forutsigbart, mye mer forutsigbart enn budene, som har en tidsluke (ikke et tidspunkt) og ofte blir forsinket
- overleveringen er veldig enkelt når alt fungerer som det skal, det er en fordel med det samme systemet hver dag
- vet godt hvem de skal kontakte ved uforutsette hendelser.
- Roboten er ikke like stresset som en sjåfør, kan bruke noe mer tid på overlevering

Fordel (teknisk):

- systemet for å åpne lukene er enkel,

Ulemper (systemet):

- sårbar for vær og vind eller at teknologien ikke fungerer som det skal, lite fleksibel, vær og vind og dårlige løsninger for lukking av skapene kan kreve mer innpakking (for eksempel i plast? – dette koster tid og penger og ressurser)
- skadede varer oppdages ikke før de er hos kunden, som da får seg en kjedelig overraskelse, overføring av varer er det største problemet fordi det er uforutsigbart (teknologi, men også vær og mengde roboten kan ta – lite fleksibel)
- opplæring av varesender (og varemottaker) i tillegg til operatør/de som styrer roboten – mange varemottakere per butikk?
- Må selv sjekke om roboten har kommet eller ikke, en sjåfør gir beskjed

Ulemper (teknisk):

- overleveringen er uforutsigbar – noen dager tar det lang tid fordi kodene ikke fungerer etter hensikt, lukene vil ikke åpne seg og da går tiden (inntil 20 minutter),
- roboten har plass til forholdsvis lite varer
- kontrollerer ikke antall poser til kunde (en mindre KS) – roboten kunne hatt systemer for skanning av hver pose og kontrollere mot bestillingene,

Lange tidsluker medfører at forsendelsene må oppbevares lenge

Vi ønsker den løsningen som tar minst tid.

Tenker at robot ikke er trafikk... Mange roboter kan forstyrre fremkommeligheten når det er mange folk på Aker Brygge

Roboter – automatisering krever et nytt system basert på faste tidspunkter/ruter, må tilrettelegge for dette – kan bidra til et bedre og mer fremkommelig transportsystem som også er mer forutsigbart for kunden – men dette kan også oppnås ved manuell transport – er ikke avhengig av roboter for å oppnå mer forutsigbarhet.

Forutsigbarhet sparer tid!

Er roboter mindre sårbare for forsinkelser fordi de kan bruke mer av døgnet/legger mindre press på ressursene? Samtidig er kjøretøyene dyre, og vil kreve at operatører er tilgjengelig – får vi nye nattjobber?

Erfaringer fra transportør (BCE):

- Roboten gjør at sjåførene slipper å kjøre på Aker Brygge, som har et komplisert trafikkbilde: slipper problemer med å finne parkering (som kan være utfordrende med stor varebil på Aker Brygge), sparer tid der og forenkler opphenting mye (lettere å hente fra OCH enn fra Aker Brygge)
- Brukte tid på innkjøring i starten – misforståelser om hvem som skal være hvor og når.



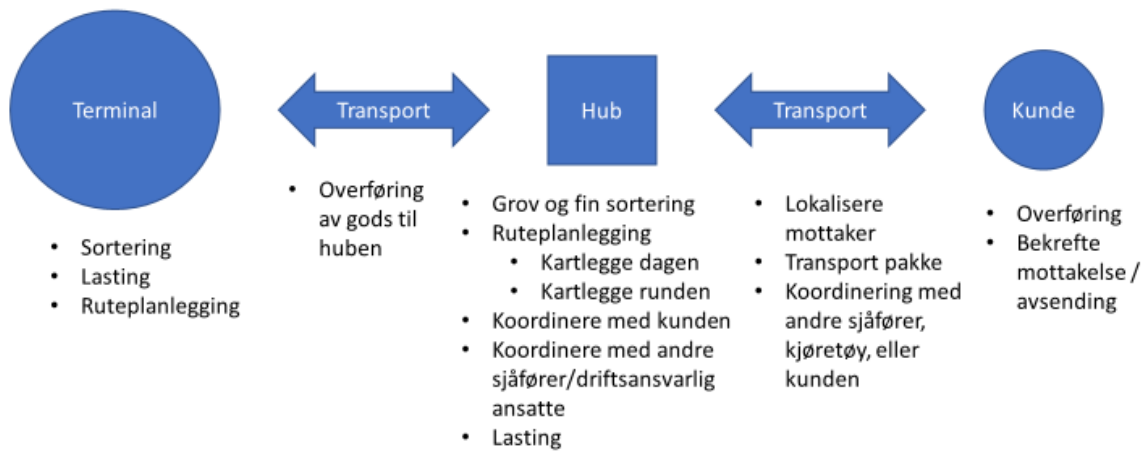
- Kan løse uforutsette hendelser med roboten ved å ha en person som er standby i området som betjenes med roboter, som både kan håndtere tekniske utfordringer, samt gjennomføre manuelle kontroller.
- Viktig med entydig informasjon til personer som skal håndtere roboten, slik at en unngår «hviskeleken» og ender opp med informasjon som ikke er helt korrekt.
- Også transportører, som skal ta med seg varen videre, har de samme bruksutfordringene som varesender med å åpne/lukke lukene, men har ikke de samme forutsigbare tidspunktene å forholde seg til – vet ikke når roboten er på OCH og klar for overlevering av varer. Trenger tydelig informasjon som kan forbedre deres forutsigbarhet. Ønsker å vite hvor roboten er, for å kunne planlegge rundt det.

Holo: representerer en viktig aktør innen overgangen til autonome kjøretøysystemer, nemlig operatøren. Tanken er at de skal kunne overvåke kjøretøyet på avstand, og håndtere de utfordringene som dukker opp ved å se på kamerabilder og tolke andre data fra roboten. Til dette arbeidet behøver de også gode kart over vegnettverket og trafikk i sanntid, inkludert tekniske detaljer om vegen, som bredde, helning, og gjerne værddata. Holo vurderer at de kan operere 5-7 roboter samtidig, men at dette avhenger av hvor autonom kjøretøyet er i praksis og hvor kompleks infrastrukturen den kjører på er (antakelig også bybildet?). De ser kun behov for «bakkepersonell» for å gjøre vedlikehold og håndtere nødssituasjoner. Overrasket over hvor lang tid innkjøringer/oppsett tar, men syns plattformen har fungert bra.

Utgangspunktet er at piloter må passe med eksisterende infrastruktur, samtidig tror de at vellykkede piloter/bruksområder kan muliggjøre endringer/tilpasninger i infrastruktur.

Usikker på om en-til-en leveranser med bakkegående kjøretøy i tett byområder har høy nok bruksverdi til å forsvare kostnadene det krever (per i dag, fra dyre kjøretøy, opplæring, forståelse), tror dronetransport som kutter kjørt distanse og kostnader er mer nærliggende eventuelt nye forretningsområder der det i dag ikke er gode transportløsninger.

## Vedlegg 8. Funksjoner terminal-hub-kunde





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)

