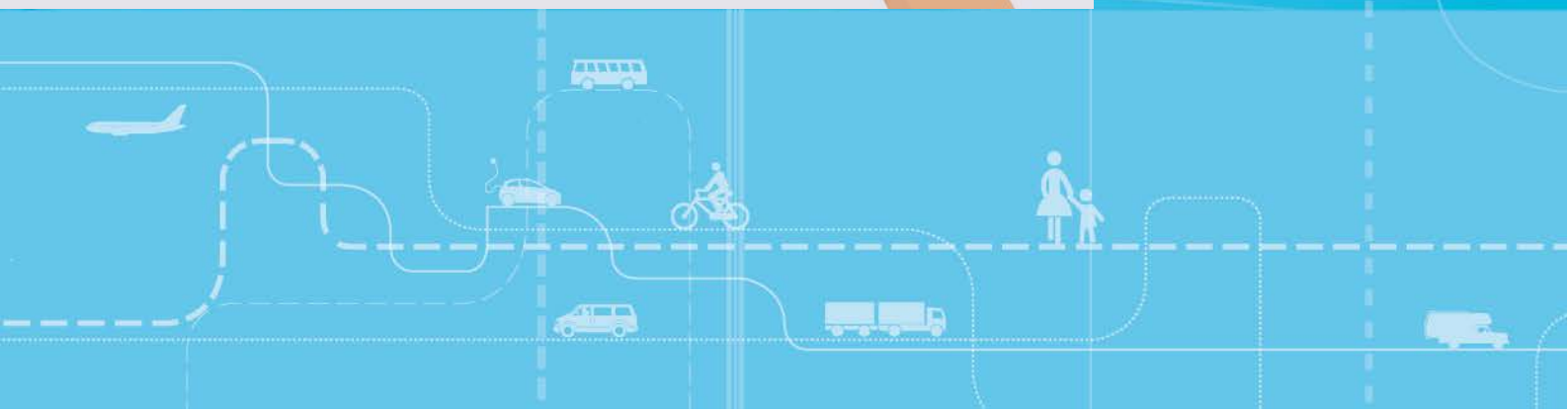


Fremtidens godstransportmodeller

Litteraturgjennomgang og utviklingsområder



Fremtidens godstransportmodeller

Litteraturgjennomgang og utviklingsområder

Christian S. Mjøsund
Daniel Ruben Pinchasik
Inger Beate Hovi

Forsidebilde: Shutterstock.com

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.

Tittel: Fremtidens godstransportmodeller:
Litteraturgjennomgang og utviklingsområder

Forfattere: Christian S. Mjøsund
Daniel Ruben Pinchasik
Inger Beate Hovi

Dato: 12.2020
TØI-rapport: 1807/2020
Sider: 36
ISSN elektronisk: 2535-5104
ISBN elektronisk: 978-82-480-2330-2
Finansieringskilder: Statens vegvesen;
Viken fylkeskommune

Prosjekt: 4948 – Utviklingsretninger
godsmodellen
Prosjektleder: Inger Beate Hovi
Kvalitetsansvarlig: Anne Madslien
Fagfelt: 31 Næringsøkonomi og
godstransport
Emneord: Godstransportmodeller;
Bylogistikk; Datagrunnlag

Sammendrag:

Denne rapporten gir en gjennomgang av internasjonal litteratur om modeller for nasjonal, regional og urban godstransport. Litteraturgjennomgangen belyser utviklingen av godstransportmodeller generelt og behovet for (urbane) godsmodeller spesielt. Til dette diskuteres eksisterende godsmodeller, typer, egenskaper og utfordringer, med hovedfokus på bylogistikk. Videre belyses pågående trender og (til dels disruptive) potensielle fremtidsutviklinger og implikasjoner for modellering av godstransport. Ettersom databehov og -tilgjengelighet gjennomgående er en utfordring innen godstransportmodellering diskuteres videre både styrker og svakheter ved eksisterende data, potensialet til nye data og «big data», samt vurderinger vedrørende databehov til en urban godsmodell, knyttet til potensielle datakilder. Formålet med rapporten er å få fram hvordan godsmodeller kan utvikles for å besvare analysebehovet for mer bærekraftig bylogistikk i tråd med FNs bærekraftsmål, ivareta trender i et mellomlangt og langsiktig tidsperspektiv og dermed gi et bedre grunnlag for beslutninger i en usikker fremtid.

Title: Future freight transport models for regional
and urban regions. A literature review.

Authors: Christian S. Mjøsund
Daniel Ruben Pinchasik
Inger Beate Hovi

Date: 12.2020
TØI Report: 1807/2020
Pages: 36
ISSN: 2535-5104
ISBN Electronic: 978-82-480-2330-2
Financed by: Norwegian Public Road
Administration;
Viken County

Project: 4948 – Developing paths for
freight transport modelling
Project Manager: Inger Beate Hovi
Quality Manager: Anne Madslien
Research Area: 31 Industry and freight
Keyword(s): Freight transport models; Urban
logistics; Data

Summary:

This report provides an overview of the international scientific literature on models for national, regional and urban freight transport. The literature review covers the development of freight transport models in general and the need for (urban) freight models in particular, discussing existing freight models by types, characteristics and challenges. We further discuss ongoing trends and (potentially disruptive) future developments and implications for freight transport modelling. Because data requirements and availability generally are challenges, we cover strengths and weaknesses of existing data, discuss the potential of new data and “big data”, and assess data requirements for urban freight models (and potential sources). The report’s objective is to provide insight into how freight models can be developed to address analytical needs towards more sustainable urban freight transport (UN’s Sustainable Development Goals), and to capture medium- and long term trends to provide a better basis for decisions in an uncertain future.

Language of report: Norwegian

Transportøkonomisk Institutt
Gaustadalléen 21, 0349 Oslo
Telefon 22 57 38 00 - www.toi.no

Institute of Transport Economics
Gaustadalléen 21, N-0349 Oslo, Norway
Telephone +47 22 57 38 00 - www.toi.no

Forord

Det vurderes å etablere et nytt etatsprogram i Statens Vegvesen om «Fremtidens transportmodeller». I denne sammenheng er TØI bedt om å komme med en litteraturstudie av internasjonal utvikling av godsmodeller. Litteraturstudien er delt i to; den ene delen omtaler utvikling av nasjonale/regionale godsmodeller mens den andre omtaler utvikling av godsmodeller for urbane transporter. Litteraturstudien inneholder relevant litteratur som var tilgjengelig fram til og med oktober 2020.

Arbeidet er utført på oppdrag for Viken fylkeskommune og Statens vegvesen Vegdirektoratet, innenfor etatsprogrammet for bylogistikk. Oppdragsgivers kontaktperson har vært Toril Presttun.

Prosjektleder for arbeidet har vært Inger Beate Hovi. Litteraturstudien er utført av Christian S. Mjøsund og Daniel Ruben Pinchasik, med støtte og innspill fra Inger Beate Hovi. Oversikten over potensielle data for regionale godsmodeller er i hovedsak skrevet av Inger Beate Hovi, men er supplert med litteraturstudie av internasjonal datatilgjengelighet og bruk av nye data som i hovedsak er utført av Daniel Ruben Pinchasik. Det innledende kapitlet er også skrevet i fellesskap av Hovi og Pinchasik, mens avsluttende kapittel er skrevet av Hovi med innspill fra Mjøsund og Pinchasik.

Det gjøres oppmerksom på at arbeidet med uttesting av potensielle grunnlagsdata fortsetter i foreliggende prosjekt og at det arbeidet skal avrundes med et forslag til innholdet i en regional godsmodell for urbane områder. Derfor er det ikke gitt noen anbefaling av modellvalg i denne rapporten.

Forskningsleder Anne Madslie har hatt det endelige kvalitetssikringsarbeidet, mens Trude Rømme har klargjort rapporten for publisering.

Oslo, desember 2020

Transportøkonomisk institutt

Gunnar Lindberg
Direktør

Kjell Werner Johansen
Arbeidsleder

Innhold

Sammendrag

Forord	i
Fremtidens godstransportmodeller	I
1 Bakgrunn	1
2 Regionale og nasjonale godsmodeller	4
2.1 Eksisterende godsmodeller og forbedringsområder	4
2.2 Trender, utvikling og implikasjoner.....	7
2.3 Oppsummering.....	8
3 Urbane godsmodeller	9
3.1 Utvikling og behov for urbane godsmodeller	9
3.2 Ulike metoder og rammeverk.....	10
3.3 Eksempler på internasjonale modeller	12
3.4 Noen aktuelle problemstillinger	19
3.5 Oppsummering.....	24
4 Databehov og datatilgjengelighet	25
4.1 Datatilgjengelighet og aggregeringsnivå	25
4.2 Nye kilder til data	25
4.3 Databehov til en urban godstransportmodell	26
5 Diskusjon og konklusjoner	30
5.1 Modellstruktur i Nasjonal godsmodell.....	30
5.2 Behov for mer detaljerte modeller.....	30
5.3 Hvilke bærekraftsmål kan urbane transportmodeller belyse.....	31
Referanser	34

Sammendrag

Fremtidens godstransportmodeller

TØI rapport 1807/2020

Forfattere: Christian S. Mjøsund, Daniel Ruben Pinchasik og Inger Beate Hovi

Oslo 2020 36 sider

Denne rapporten gir en gjennomgang av internasjonal litteratur om modeller for nasjonal, regional og urban godstransport. Litteraturgjennomgangen belyser utviklingen av godstransportmodeller generelt og behovet for (urbane) godsmodeller spesielt. Til dette diskuteres eksisterende godsmodeller, typer, egenskaper og utfordringer, med hovedfokus på bylogistikk. Videre behandles pågående trender og til dels disruptive potensielle fremtidsutviklinger og implikasjoner for modellering av godstransport. Ettersom databehov og -tilgjengelighet gjennomgående er en utfordring innen godstransportmodellering diskuteres videre både styrker og svakheter ved eksisterende data, potensialet til nye data og «big data», samt vurderinger vedrørende databehov til en urban godsmodell, knyttet til potensielle datakilder. Formålet med rapporten er å få fram hvordan godsmodeller kan utvikles for å besvare analysebehovet for mer bærekraftig bylogistikk i tråd med FNs bærekraftsmål, ivareta trender i et mellomlangt og langsiktig tidsperspektiv og dermed gi et bedre grunnlag for beslutninger i en usikker fremtid.

Bakgrunn

Denne rapporten gir en gjennomgang av internasjonal litteratur om modeller for nasjonal, regional og urban godstransport. Litteraturgjennomgangen belyser utviklingen av og behovet for (urbane) godsmodeller, samt mangler og utfordringer når det gjelder datatilgjengelighet og geografisk overførbarhet av modeller. Formålet med rapporten er å få fram hvordan godsmodeller kan utvikles for å besvare analysebehovet for mer bærekraftig bylogistikk i tråd med FNs bærekraftsmål, ivareta trender i et mellomlangt og langsiktig tidsperspektiv og dermed gi et bedre grunnlag for beslutninger i en usikker fremtid.

Godstransport påvirkes av en rekke trender og utviklingstrekk som i ulik grad er relevante på nasjonalt, regionalt og lokalt nivå. Eksempler på pågående trender er teknologisk utvikling, økt urbanisering og økt internasjonalisering av transport. Noen trender pågår gradvis, mens andre utviklinger er disruptive og kan inntre raskt. Dette har betydning for transportmodeller som skal beskrive godstransportmarkedet og benyttes til å lage prognoser for og scenarioer rundt fremtidens godstransporter, bl.a. gjennom endringer i varestrømmer, kostnader og transportmiddelvalg.

Ettersom endringer gjerne skjer raskt er prognoser på mellomlang til lang sikt utfordrende og det er derfor nødvendig med innovasjon i godstransportmodellering. Nye data og «big data» vil til en viss grad kunne berike fremtidens godstransportmodeller ved å gi bedre innsikt i relasjoner som ikke er optimalt dekket i godstransportmodeller i dag. Litteraturen peker imidlertid også på en rekke utfordringer rundt slike nye datakilder.

Regionale og internasjonale godsmodeller

Utvikling av transportmodeller begynte på 1960-tallet og hovedfokuset har historisk vært på persontransport. Mange av dagens transportmodeller bygger på den såkalte 4-stegsmetoden, som bygger på følgende struktur:

1. Generering: Hvor mye gods genereres og hvor?
2. Distribuering: Hvor fraktes dette godset til?
3. Transportmiddelvalg: Hvilke transportmidler velges?
4. Rutevalg: Hvilke ruter velges?

Litteraturgjennomgangen viser at siste års utvikling av internasjonale og regionale godstransportmodeller i hovedsak har gått på å gjøre dagens modellstruktur og 4-stegsmetoden mer sofistikert. Sentrale utviklingstrekk har vært å inkludere flere aktører og valg i prosessene som ligger til grunn for logistikkbeslutninger, samt å modellere distribusjonskanaler og intermodale transportkjeder bedre. Det har vært noen forsøk på å innføre et stokastisk element for å gjøre valg av transportmiddel mindre deterministisk og mer i tråd med empiriske data, men utfordringen for norske forhold har vært tilgang til konsistente grunnlagsdata på tvers av transportformer og for transportkjeder.

Også koblinger mellom nasjonale/regionale godsmodeller og bylogistikkmodeller, samt mot persontransportmodeller, har vært gjenstand for diskusjon i litteraturen, men foreløpig er det utført lite konkret arbeid på dette området.

Behov for urbane godsmodeller?

Hva gjelder urbane godstransportmodeller har utviklingen hengt etter nasjonale og regionale godstransportmodeller. Litteraturen peker på flere årsaker til dette og illustrerer samtidig hvorfor det er behov for å modellere godstransport i byområder spesifikt og ikke som en del av nasjonale/regionale modeller. Blant annet pekes det på betydelige forskjeller mellom lange og regionale transporter og transport til, fra eller i by. Bylogistikk kjennetegnes bl.a. av en høyere grad av kompleksitet, heterogenitet og endring og har spesifikke egenskaper knyttet til (og variasjon i) leveringsmønster og transporttyper, sendingsstørrelser, laste- og losseprosesser, kjøretøystørrelser, utnyttelsesgrad, arealbruk mm. Ytterlige grunner til at utviklingen av modeller for urban godstransport har hengt etter er modellenes databehov vs. tilgjengelighet til tilstrekkelig detaljerte data, samt begrenset overførbarhet av modeller til ulike geografiske områder. Det anføres også at godstransport i byområder lenge har vært en nedprioritert del av den urbane politikken og at urbane godsmodeller i praksis er underutnyttet som følge av at myndighetenes tilnærming ofte er mindre systematisk og mer ad-hoc-preget.

Ulike typer av urbane godsmodeller

Eksisterende urbane godsmodeller har ulike tilnærminger og kan klassifiseres på ulike måter. Eksempler inkluderer modellens planleggingshorisont, formål, modellenhet, modelloppbygging og detaljnivå. Ettersom det i brorparten av modellene uansett er behov for å beregne godsetterspørsel i byområder, handler det meste av den eksisterende litteraturen om etterspørselstimeringsmodeller. Også for disse finnes ulike tilnærminger og klassifiseringer, men det er en egenskap de fleste etterspørselsmodeller for urban godstransport har til felles: De trenger en genereringsfase som definerer varestrømmer og varestrømmenes egenskaper. Denne fasen estimerer strømmer, enten hos avsender, hos

mottaker eller begge deler. Tilnærmingen i de øvrige modelleringsfaser i etterspørselsmodeller varierer, men er i hovedsak knyttet til segmentering og geografisk fordeling av genererte varestrømmer.

I rapporten gis en oversikt over eksisterende urbane godsmodeller og de viktigste egenskapene. Dette gjøres etter en mye brukt klassifisering som skiller mellom varestrømbaserte, kjøretøysbaserte og leveringsbaserte etterspørselsmodeller.

Varestrømbaserte modeller er som oftest basert på aggregerte data og tar utgangspunkt i mengden varer som skal fraktes. Gruppen med **kjøretøybaserte modeller** er basert på standard 4-stegs tilnærminger og har som hovedmål å estimere antall turer med tunge godskjøretøy. **Leveringsbaserte etterspørselsmodeller** bruker laste- og losseaktiviteter som observasjonsenhet, dvs de aktivitetene som forbinder aktørene som genererer og de som utfører transport. For alle modelltyper omtaler rapporten flere internasjonale eksempler og deres spesifikke egenskaper. I tillegg til ovennevnte modellgrupper gir rapporten en omtale av tilnærmingen i en nyere «agentbasert mikrosimuleringsmodell» med potensielt interessante anvendelsesområder i fremtiden. Videre omtales noen aktuelle problemstillinger i form av modellering av distribusjonsrunder (som er en særskilt utfordring for godstransport i by) og såkalte LUTI-modeller, som søker å estimere den langsiktige byutviklingen gjennom samspillet mellom arealbruk, transporttjenester og befolkningsvekst. Avslutningsvis omtales fordeler og utfordringer med et nyere forsøk på å basere modellering på data som er offentlig tilgjengelig for byområder i store deler av Europa, som tilnærming til å gjøre urbane godsmodeller mer overførbart mellom geografiske områder.

Datagrunnlag for videreutvikling av godsmodell

En viktig observasjon fra litteraturgjennomgangen er at databehov og -tilgjengelighet gjennomgående har vært en utfordring for godsmodeller. Ikke minst gjelder dette urbane godsmodeller, ettersom det internasjonalt er lite tilgjengelig data om godstransport i byområder og svært få land har pågående undersøkelser om godsaktiviteter i by. Samtidig peker utvikling de senere år og forventninger om tilgang til nye data og «big data» på et potensiale til å berike og forbedre fremtidens godsmodeller. Utfordringen er å finne relevante og pålitelige datakilder og egnede rammeverk for transportmodeller. En annen faktor er detaljeringsnivået til dataene som trengs for spesifisering, kalibrering og anvendelse.

I litteraturen omtales mange eksempler på datakilder som potensielt vil kunne brukes til godsmodeller, som f.eks. data om godsets leveransemønster (sendingsdata) og kjøretøybevegelser (GPS-data), produksjonssted, strukturer til leveransekjeder, osv. For «big data» ligger potensialet gjerne i mikrodata. Tanken er at slike data kan bidra til at relasjoner mellom ulike variabler i større grad utforskes basert på korrelasjoner og «data mining», og med dette berike dagens modeller, der grunnlaget er basert på hvordan antatte relasjoner er programmert og forenklet.

Samtidig påpekes det at nye data i hovedsak må anses som supplement til eksisterende modellinput og ikke som direkte alternativ. Andre utfordringer er at data-eksemplene som nevnes mest i litteraturen i hovedsak vil være data uten informasjon om gods- og varetype. Data vil videre ofte være privat-eid og bedriftssensitive, noe som i sin tur påvirker dataenes tilgjengelighet. Det må også bemerkes at for å kunne nyttiggjøre nye data og «big data» trengs løsninger for å koble data, gitt at dataene vil ha ulike kilder, formater, styrker, svakheter og egnethet.

Innhold i en godstransportmodell for et byområde

Hva som skal være innholdet i en godstransportmodell for et byområde vil avhenge av hvilke problemstillinger modellen skal besvare og hvilke ressurser en ønsker å satse på en slik modell. En transportmodell for et byområde forventes å skulle kunne besvare mer detaljerte problemstillinger enn dagens nasjonale godsmodell (NGM), både geografisk og hva gjelder utfordringer som i mye større grad vil være aktuelle i by, enn på nasjonalt nivå. Ikke minst vil det for eksempel være problemstillinger knyttet til tidspunkt på døgnet for når en leveranse vil finne sted og som dagens nasjonale godsmodell i liten grad ivaretar. NGM fanger heller ikke opp alle kjøretøysegmenter som kanskje bør inkluderes i en bymodell. Dette gjelder først og fremst kjøretøy som brukes til leveranser fra service- og tjenestenæringene, men også f.eks. små elektriske kjøretøy og sykler, som blir mer aktuelle å bruke, bl.a. som følge av økt netthandel og et økende antall små leveranser til husstander og bedrifter.

På sikt vil mulige utviklingsretninger for modellering av urban godstransport kunne være å utvide dagens nasjonale godsmodell med mer detaljert soneinndeling og transportnett i byområdene, å inkludere flere transportmiddelvalg med tilhørende kostnadsfunksjoner, eller/og å utvikle delmodeller som er kompatible med NGM og som kobler langtransport og regional distribusjon, samtidig som last mile og leveranser i sentrumsområdene i byer ivaretas.

I alt tilsier problemstillinger knyttet til urban godstransport, analysebehovet for mer bærekraftig bylogistikk og ivaretagelse av trender og utviklinger som kan påvirke godstransport i et mellomlangt og langsiktig tidsperspektiv, at det er nødvendig med (videre)utvikling av forskjellige elementer i (urbane) godstransportmodeller. Tabell S.1 oppsummerer hvilke modellelementer som vil kunne være nødvendig for virkemiddelanalyse og måloppnåelse, og relaterer dette til planleggingshorisonten og FNs bærekraftsmål. Relevante eksempler er modellelementer knyttet til kjøretøyteknologi og nye distribusjonsløsninger. En utfordring ved mange av modellelementene er imidlertid at det vil være behov for økt tilgang til data og bedre data, som for godstransport ofte er privat-eid eller bedriftssensitiv. Det vil derfor kunne være behov for offentlig-privat samarbeid om et bedre datagrunnlag for fremtidens (urbane) godstransportmodeller.

Tabell S.1. Oppsummering av FNs bærekraftsmål, modellelementer, virkemidler og planleggingshorisont.

	God helse	Ren energi til alle	Anstendig arbeid og økonomisk vekst	Industri, innovasjon og infrastruktur	Bærekraftige byer og lokalsamfunn	Ansvarlig forbruk og produksjon	Stoppe klimaendringene	Redusere negative effekter av menneskers adferd på livet i havet	Redusere negative effekter av menneskers adferd på livet på land	Samarbeid for å nå målene	Avgifter	Subsidier	Reguleringer	Arealbruk	Kort	Mellomlang	Lang
Relevante bærekraftsmål → ↓ Modellelementer	3	7	8	9	11	12	13	14	15	17	Virkemidler				Planleggingshorisont		
Godsgenerering:																	
Økonomisk aktivitet			X	X	X	X	X	X	X								
Industrilokasjoner				X	X	X	X			X			X	X			X
Terminallokasjoner				X	X	X	X			X			X	X			X
Konsolideringsterminaler										X			X	X		X	
Hvor fraktes godset til?																	
Næringslokasjoner	X				X					X			X	X			X
Bosettingslokasjoner	X				X					X			X	X			X
Transportmiddelvalg:																	
Transport- og logistikkostnader			X	(X)	X					X	X	X	(X)		X	X	X
Sendingsstørrelse					X	(X)				X	X				X		
Leveringsfrekvens					X	(X)	X			X	X				X		
Laste- og losseprosesser					X			X	X	X			X	X		X	
Kjøretøystørrelse				(X)	X		X	X	X	X	X		X		X	X	
Kjøretøyteknologi	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X		(X)	X	X
Nye distribusjonsløsninger		X		X	X			X	X	X	X	X	(X)	(X)	X	X	X
Automatisering				X	X			X	X	X		X				(X)	X
Rutevalg:																	
Tilgjengelig infrastruktur				X	X			X	X					X			X
Distribusjonsruter					X						X		X		X		
Framkommelighet og kø	X				X						X		X	X		X	X

1 Bakgrunn

Godstransport påvirkes av en rekke trender og utviklingstrekk, som i ulik grad er relevant på nasjonalt, regionalt og lokalt nivå. Noen eksempler på pågående trender som er tilbakevendende tema i litteraturen, er teknologisk utvikling, økt urbanisering (som medfører arealknapphet) og økt internasjonalisering av transport. Noen trender pågår gradvis over tid, mens andre er såkalte disruptive. En disruptiv utvikling innebærer en uventet fremtidig utvikling, som vil kunne inntre raskt. Den kan derfor ikke uten videre framskrives basert på den historiske utviklingen.

Uansett om trenden er disruptiv eller ikke, har trender betydning for godstransportmodeller som skal beskrive godstransportmarkedet og benyttes til å lage prognoser for og scenarier rundt fremtidens godstransporter. Et grunnleggende spørsmål er derfor hvordan godsmodeller kan utvikles til å gi et bedre grunnlag for beslutninger i en usikker fremtid. I denne rapporten gis en gjennomgang av internasjonal litteratur som diskuterer utvikling av og status for gjeldende godsmodeller for nasjonal og regional godstransport, i tillegg til et eget kapittel om urbane godsmodeller. Litteraturgjennomgangen belyser utviklingen og behov for (urbane) godsmodeller, samt mangler og utfordringer særlig når det gjelder datatilgjengelighet. Formålet er å få fram hvordan godsmodeller kan utvikles for å besvare analysebehovet for mer bærekraftig bylogistikk, samt ivareta trender i et mellomlangt og langsiktig tidsperspektiv.

Invitasjonen til konferansen 'Forum on Integrated and Sustainable Transportation System' (gjennomført i november 2020) illustrerer at både modellering av, og datainnsamling til, godsmodeller er i rask utvikling, drevet av utviklinger i samfunnet:

«The design of efficient and sustainable transportation systems is of crucial importance. There are increasing possibilities to develop the analytical tools to do so, due to new and innovative ways of «big data» collection. Examples are new generations of (semi-automated) commodity flow surveys, extensive automated truck trip travel diaries, bluetooth data, and so on. Working with these data introduces new questions. What methods can be used to acquire, extend or improve the data? How can descriptive and predictive models best build on this data?»¹

Slike nye datakilder og mulighetene til å utnytte store datamengder («big data») muliggjør mer detaljerte godsmodeller, og kan også føre til endringer og justeringer fra dagens godsmodeller med tanke på struktur, oppbygging, og antatte relasjoner mellom variabler. Kapittel 4 inneholder en gjennomgang av litteratur om dette temaet.

For å vurdere fremtidige godsmodeller er det nyttig å også se kort på hvordan den historiske utviklingen har vært, hovedstrukturene i dagens godsmodeller og hva litteraturen forteller om forbedringsområder innenfor dagens modellstruktur, spesielt med tanke på den norske godsmodellen. Dette gjøres i kapittel 2. I kapittel 3 gis en gjennomgang av litteraturen til en rekke forsøk på å utvikle urbane godsmodeller. Rapporten inneholder også en oversikt over potensielle datakilder for godsmodellutvikling (kapittel 5).

FN har pekt ut 17 bærekraftsmål som vil være sentrale i årene som kommer. Som det framkommer av figur 1.1 er minst ti av disse på en eller annen måte relevante for godstransport.

¹ «Special Session on Advanced Methods for Freight Transportation Data Collection and Modelling»,



Figur 1.1. FN's 17 bærekraftsmål.

Bærekraftsmål 3 (God helse) har for eksempel spesifikke delmål om å redusere antall dødsfall og skader forårsaket av trafikkulykker og luftforurensning, mens mål 7 (Ren energi til alle) bl.a. går ut på å sikre tilgang til pålitelige og moderne energitjenester, å øke andelen fornybar energi i energiforbruket og å få raskere forbedringer i energieffektivitet.

Bærekraftsmål 8 (Anstendig arbeid og økonomisk vekst) kombinerer delmål om å opprettholde økonomisk vekst og å øke produktivitet gjennom bl.a. teknologisk fremgang og innovasjon og bedre utnyttelse av ressurser, ved å fremme anstendig arbeid og gode arbeidsforhold.

Mål 9 (Industri, innovasjon og infrastruktur) går bl.a. ut på utvikling av bærekraftig infrastruktur av høy kvalitet, herunder på regionalt nivå, samt mer (og mer effektiv) bruk av ressurser, rene og miljøvennlige teknologiformer og prosesser, samtidig som bærekraftig næringsutvikling skal fremmes. Bærekraftsmål 11 (Bærekraftige byer og lokalsamfunn) er rettet spesifikt mot byer, og har en rekke delmål knyttet til bærekraftig og integrert urbanisering, samfunnsplanlegging og forvaltning, med bærekraftige transportsystemer og styrking av regionale planer. Videre skal byenes og lokalsamfunnets negative påvirkning på miljøet reduseres med særlig vekt på bl.a. luftkvalitet (jfr. mål 3). Dette henger også sammen med bærekraftsmålene 14 og 15 om å redusere negative effekter av menneskers adferd på livet hhv i havet og på land.

Gjennom bærekraftsmål 12 (Ansvarlig forbruk og produksjon) skal klimaavtrykket fra innbyggernes forbruk reduseres og hvor etterspørsel etter og transport av varer spiller en viktig rolle, mens gjennom mål 13 legges det opp til at handling for å bekjempe klimaendring og klimaendringens konsekvenser skal settes i gang umiddelbart.

Bærekraftsmål 17 (Samarbeid for å nå målene) har avslutningsvis delmål som går ut på å oppnå mer samstemt og helhetlig politikk for bærekraftig utvikling, å stimulere til og fremme partnerskap i og mellom det offentlige, private og sivile samfunnet, herunder utvikling mht utnyttelse av data.

Bærekraftsmålene kan brukes som et utgangspunkt til å identifisere utviklingsbehovet i godsmodellen framover. Det gjelder å utvikle godstransportmodellen slik at den kan benyttes til analyser av følgende problemstillinger, hvor relevante bærekraftsmål er angitt i parentes:

- Hvordan skal godstransportsektoren kunne oppnå mål om utslippsforpliktelser i årene framover (7, 8, 11, 12 og 13)?

- Hvordan skal godstransportsektoren bidra til økonomisk vekst og til å oppfylle krav om anstendig arbeid (8)?
- Hvordan skal godstransportnæringen bidra til innovasjon og hvilken infrastruktur kreves for å realisere dette (9 og 12)? Innovasjon kan være i form av nye logistiktjenester og teknologiske endringer i f.eks. kjøretøyteknologi.
- Hvordan utforme transportløsninger som er med på å bidra til en fremtidsutvikling for bærekraftige byer og samfunn (11, 13)?
- Hvordan redusere de negative eksterne effekter fra godstransport på innbyggernes helse, i form av trafikkulykker og luftforurensning (3)?
- Hvordan minimere de eksterne kostnadene fra godstransporten slik at påvirkningen av godstransport for livet under vann og livet på land (14 og 15) blir minst mulig?
- Hvilke aktører må samarbeide for å nå disse målene (17)?

2 Regionale og nasjonale godsmodeller

2.1 Eksisterende godsmodeller og forbedringsområder

2.1.1 Kort om prinsippene i eksisterende godsmodeller

Utvikling av transportmodeller begynte på 1960-tallet. Historisk sett har hovedfokuset vært på persontransport, i større grad enn på godstransport. Modeller for godstransport er også i utgangspunktet mer kompliserte fordi det er flere aktører som tar valg og beslutninger (slik som vareeiere, transportører, speditører og operatører), og fordi transportenhetene varierer mer sammenliknet med persontransport (Lange og Huber, 2015; Meersman og van de Voorde, 2019). Tapia m.fl. (2020) finner at modellering av godsetterspørsel henger bak modellering for persontransport og i større grad bruker aggregerte modeller uten adferdsmodellering. Godstransport avviker også fra persontransport, bl.a. hva gjelder datatilgjengelighet, antall aktører, kompleks adferd, heterogenitet mht sendingsstørrelser og tidsperioder som modelleres. Hva gjelder tidsperiode blir det i godstransportmarkedet tatt diskrete korttidsvalg på operasjonelt nivå (hvordan transporteres en enkelt sending til én enkelt mottaker). På taktisk nivå kan det imidlertid være rom for valg av flere alternativer, f.eks. at det ikke alltid velges samme transportmiddel. Ifølge Tapia m.fl. (2020) innebærer dette i praksis at det er flere diskrete valg og at det ikke uten videre kan forutsettes at transportmidlene er perfekte substitutter.

Mange av dagens transportmodeller bygger på den såkalte 4-stegsmetoden, som Meersman og van de Voorde (2019) mener er til dels utdatert, selv om estimeringsteknikker og inputdata i løpet av årene har blitt bedre. Denne metoden bygger på følgende struktur:

1. Generering: Hvor mye gods generes og hvor?
2. Distribuering: Hvor fraktes dette godset til?
3. Transportmiddelvalg: Hvilke transportmidler velges?
4. Rutevalg: Hvilke ruter velges?

En innvendig mot denne metoden er at grunnlagsdata i form av etterspørselsmatriser ikke vil være egnet til å fange opp raske endringer, ettersom de blir estimert i situasjoner med kun mindre endringer i priser og kostnadsstrukturer (Meersman og van de Voorde, 2019). Et konkret eksempel er utfordringer knyttet til prognoser for bygg- og anleggstransport basert på faste matriser ettersom etterspørselen her er sterkt knyttet opp mot byggevirksomhet som endrer seg relativt fort. Også disruptive utviklinger, slik som eksemplene i seksjon 2.2, vil kunne medføre raske endringer med potensielt stor betydning for flere av modellstegene. Det er derfor flere grunner til å se på hvordan modeller for godstransport kan videreutvikles og forbedres.

2.1.2 Nyere utvikling og forbedringsområder

2.1.2.1 Logistikkbeslutninger og intermodale transportkjeder

De siste årene har utviklingen av godstransportmodeller i hovedsak gått i retning av å gjøre 4-stegsmetoden mer sofistikert ved å inkludere flere faktorer knyttet til logistikkvalg.

Bakgrunnen er en bevisstgjøring av at etterspørsel etter godstransport er et resultat av handels- og logistikkaktiviteter, og at man derfor bør inkludere flere ledd og aktører i verdikjedene for å modellere transportbeslutningene bedre (de Jong m.fl., 2016; Tavasszy og Friedrich, 2019). Typiske nyere modellkomponenter handler bl.a. om varelagerlokalisering og lokale og regionale logistikkentra (de Jong m.fl., 2016). Ifølge Sakai m.fl. (2018) er distribusjonskanalen et viktig element i godsmodellering, fordi den er relevant både for sendinger og kjøretøyturer. Uten å hensynta distribusjonskanaler kan modeller ikke differensiere mellom direkte og indirekte forsendelser via logistikkentra (lagre, terminaler mm). I dag tar kun et lite antall modeller eksplisitt hensyn til bruk av logistikkfunksjoner i estimeringen av varestrømmer og Sakai m.fl. (2018) finner at distribusjonskanal ikke hensyntas i de fleste eksisterende varestrømsmodeller.

En gjennomgang av de Jong m.fl. (2013) viser hvilke elementer av logistikkbeslutninger som er dekket i ulike nasjonale/internasjonale godsmodeller. Her fremgår det at den norske og svenske modellen ikke bruker beliggenheten til lagre og distribusjonsenheter, noe flere andre etablerte modeller gjør. I den sammenheng må det påpekes at norske NGM (Nasjonal GodstransportModell) faktisk inneholder engroshandelslagre (i varestrømsmatrisene) (Hovi, 2018) og terminaler (i nettverksmodellen) (Madslie m. fl., 2015) men dette er et område som nok er dekket bedre i andre godsmodeller slik som SMILE (Nederland) og SLAM/TRANSTOOLS (EU). Sistnevnte modell inneholder også informasjon knyttet til predefinerte ruter som transportørene/sjåførene vanligvis foretrekker når de står overfor alternativer. Dette er ikke inkludert i NGM, men ettersom nettverksmodellen i NGM i mindre grad inneholder mindre veier som er lite relevante for godstransport (som f.eks. de fleste kommunale veiene), er dette ikke så problematisk i en nasjonal modell. Oversikten fra de Jong m.fl. (2013) viser videre at den norske og svenske modellen heller ikke inkluderer informasjon om vareeiers valg av transportører og/eller leverandører, men dette er heller ikke vanlig i andre nasjonale eller regionale modeller.

De Jong m.fl. (2013) framhever at modellene kan videreutvikles ved å innføre vare- og transportpriser som forklarende faktorer for valg av leverandører og transportører, samt å skille på valg av leverandør og transportør, noe som kan ha innvirkning på transportmiddelvalg. Også beslutningstaking relatert til produksjon, lagerhold og transportlogistikk, samt hvordan dette forholder seg til hverandre, har potensiale for videreutvikling. Meningen er å fange opp strukturelle endringer i f.eks. produksjonssystemer, lagerhold og bruk av distribusjonsenheter. En kan også innføre mer sofistikert modellering av hvordan kjøretøyene opereres i forhold til produksjon og lagerhold. I Meersman m.fl. (2016) stiller forfatterne spørsmål om hvordan man i fremtidige modeller bedre kan ta hensyn til operatørens rolle. Dette aktualiseres av modellering av nye framdriftsteknologier med begrensninger på rekkevidde, som f.eks. batterielektriske løsninger.

I hvilken grad nasjonale transportmodeller tar hensyn til intermodale transportkjeder varierer mellom land. Huber (2017) gjennomgår 126 godsmodeller fra ulike land og regioner og finner at kun 21 av disse tar hensyn til intermodale transportkjeder. Det varierer også hvilke aspekter ved valg av transportkjeder som er dekket av disse modellene. For Norges del konkluderer Huber at NGM hensynstar intermodale transportkjeder, samt at den inkluderer betraktninger rundt «relevante prosesser» (organisatoriske prosesser, omlasting, konsolidering, osv.), forsendelseskarakteristika og systemrelaterte karakteristika (nettverk, noder, osv.). Samtidig påpeker Huber at NGM mangler betraktninger rundt

aktører/roller som påvirker valg av transportkjede (slik som avsender, mottaker², transportør/samlaster, osv.), samt markedsmessige forhold som påvirker transportvalget (kontraktsinngåelser, konkurranseforhold, forhandlinger osv.).

2.1.2.2 Modellering med disaggregerte data

Abate m.fl. (2019) framhever at to svakheter med de nordiske godsmodellene er at de ikke tar hensyn til andre forhold rundt valg av sendingsstørrelse og transportkjede enn de generaliserte logistikkostnadene, samt at modellene er deterministiske og mangler et stokastisk element. Dette gjør at man antar at alle markedsaktørene opptrer rasjonelt og velger den billigste løsningen, noe som ikke alltid stemmer overens med empiri (selv om man søker å kalibrere dette på aggregert nivå). Et stokastisk element (inkludert som en logit-funksjon) vil i større grad ivareta dette ved å innføre sannsynligheter for at den enkelte aktør vil velge en transportløsning. I Sveriges godsmodell er det implementert en disaggregert stokastisk modell for to varegrupper; metallvarer og kjemiske varer, estimert på grunnlagsdata fra den svenske varestrømsundersøkelsen. Resultatene viser at modellen demper etterspørsel-effektene av simuleringer i modellen (såkalt overshooting). Også TØI har tidligere gjort et arbeid rundt en potensiell utvikling mot en stokastisk modell (Caspersen m.fl., 2016), men hovedutfordringen er datagrunnlaget og manglende konsistens i data om transportmiddelvalg. Også dette arbeidet hadde tilsvarende dempende effekt ved simulering av etterspørselsvirkninger av politikktiltak.

I et arbeid beskrevet i Jensen m.fl. (2019), gjort for EU, er det utviklet en metode for å etablere en diskret transportkjedemodell for Europa. Modellen baserer seg på disaggregerte data på forsendelsesnivå (varestrømsundersøkelser fra Sverige og Frankrike (ECHO)). En konklusjon fra arbeidet er at transportkjedevalg avhenger av flere faktorer, slik som transportkostnader, transporttid, vareverdi, varetype og om det er direkte tilgang til jernbane og sjøtransport³. Forfatterne fremhever at i en langsiktig strategisk transportmodell er det nødvendig å hensynta hvorvidt direkte tilgang til transportformer som sjø og bane kan endres for avsender- og mottakeroner over tid.

En mulig utvikling framover kan være storskala disaggregert godsmodellering, med ulike valgmodeller. Det vil være viktig å ta hensyn til heterogenitet og ikke-lineære transportkostnader, tidsverdier og substitusjonselastisiteter (Tavasszy og Friedrich, 2019).

2.1.2.3 Bylogistikk og kobling mot persontransportmodeller

Mye ny forskning har vært fokusert på modellering av godstransport i urbane områder/bylogistikk (Anand m.fl., 2015; de Jong m.fl., 2016). De Jong m.fl. (2013) skisserer for eksempel mulige utviklingspotensialer i å integrere nasjonale godsmodeller med urbane godsmodeller for å modellere sisteledds-distribusjon. Chow m.fl. (2010) beskriver en mulig variant der nasjonale/regionale godsmodeller kombineres med en turgenereringsmodell for å modellere distribusjon og bevegelser i urbane strøk. Selv om denne artikkelen er fra 2010, kan slike tilnæringer bli mer aktuelle fordi digitalisering gir tilgang til data som tidligere ikke eksisterte i samme grad, for eksempel GPS-data. Nye datakilder omtales i mer detalj i kapittel 4.

En annen mulig utvikling som diskuteres er å integrere godsmodeller med persontransportmodeller. Dette vil være en fordel om man ønsker å modellere

² Varestrømsmatrisene i NGM inkluderer informasjon om bedriftenes lokalisering og skiller også mellom om leveransekjeden går fra produsent til sluttkonsum (inkludert leveranser av innsatsvarer) eller om de går via grossist.

³ Alle disse variablene inngår i NGM.

kapasitetsbegrensninger basert på totaltrafikken i et samlet nettverk (de Jong m.fl., 2013). Et skritt lenger vil være å bruke reisemønsteret i persontransport som etterspørselsfaktor til godstransport. Tanken er at varestrømmene følger kjøpeadferden til sluttkonsumentene, slik at godsstrømmene kan modelleres med utgangspunkt i innkjøpsreiser for persontransport (Russo og Comi, 2020). Dette vil dog kun være aktuelt for konsumvarer, og det er viktig å huske at godstransport inkluderer transport av mange andre vareslag som ikke kan modelleres på denne måten, slik som innsatsvarer, industrivarer og bulkvarer. Leveranser fra engros til detalj må også behandles spesifikt.

De Jong m.fl. (2013) peker også på at man kan inkludere flere elementer i valg av transport, slik som krav til service og transportkvalitet⁴.

Til slutt kan det nevnes at de Jong m.fl. (2014) beskriver utviklingen av en godsmodell i Flandern som tar hensyn til valg av tidsperiode for transport. Dette muliggjør modellering av forskjellige kostnader og transporttider på ulike tider av døgnet, noe som kan være aktuelt dersom modellen skal brukes til analyser av kapasitetsproblemer, rushtidsavgift og lignende.

2.2 Trender, utvikling og implikasjoner

Som nevnt innledningsvis er det et antall trender og utviklingstrekk som gjennomgående kommer tilbake i litteraturen om godstransportmodeller, herunder rask teknologisk utvikling, økt urbanisering og økt internasjonalisering av transport. En del av bildet er at transport og logistikk i økende grad skjer internasjonalt og i integrerte globale verdikjeder (de Jong m.fl., 2016).

Av disse trendene er det sannsynligvis særlig de teknologiske som har potensiale til å bli mest disruptive, og en rapport fra Ekspertutvalget for teknologi og fremtidens transportinfrastruktur (2019) peker i retning av en rekke utviklingstrekk som kan inntre raskt og som kan være av betydning for fremtidens (gods)transport.

Rapporten omtaler elektrifisering av transportmidler, automatisering/autonomi av kjøretøy og logistikkprosesser, økt mulighet til deling og samlastning av transporttjenester, endringer i sisteledds-distribusjon (eksempelvis hvilke kjøretøy som velges, droner, roboter, hentepunkter, mm.), innføring av deletjenester (f.eks. «crowdshipping»), intelligente transportsystemer og bruk av kunstig intelligens. Andre eksempler på en potensielt relevant utvikling er innføring av platooning i lastebiltransport (Meersman m.fl., 2016), mens Ehrler m.fl. (2016), Carrara og Longden (2017) og McKinnon (2019) videre peker på en rekke teknologiske utviklinger innenfor drivstoff/drivstoffeffektivitet og digitalisering av logistikk som vil kunne forbedre internasjonale produksjons- og distribusjonsprosesser, f.eks. gjennom mer effektiv kapasitetsutnyttelse.

Alle disse eksemplene har til felles at de medfører et potensiale for betydelige endringer i langsiktige godstrender (McKinnon, 2019). Slike endringer vil f.eks. kunne materialiseres gjennom faktorer som transport- og logistikkostnader (f.eks. automatisering, elektrifisering og nye typer kjøretøy som kutter sjåfør-, drivstoff- og andre kjøretøyrelaterte kostnader), sammensetning, retning, opprinnelse og destinasjon på godsstrømmer, transportmiddelvalg (f.eks. til sisteledds-distribusjon og på grunn av urbanisering og et mer individualisert transporttilbud), distanser og rutevalg (og tilgjengelig nettverk og tidspunkter), sendingsstørrelse og -frekvens, etterspørsel (f.eks. økt etterspørsel på grunn av billigere

⁴ Dette er til en viss grad inkludert i NGM; service, representert ved frekvens og transportkvalitet gjennom kjøretøytype. Tidsverdiene til varene påvirker hvilken transportkvalitet som etterspørres.

transport), kapasitetsutnyttelse og behov, mm. Det kan videre forventes endringer i hvordan selve transport- og logistikksektoren tar beslutninger, i lys av det økende datatilfanget og økte analysemuligheter (Meersman og van de Voorde, 2019; Ekspertutvalget, 2019).

For at fremtidens godstransportmodeller skal være pålitelige og forbli nyttige, er det viktig at modellene klarer å fange opp hvordan transportsystemer fungerer i praksis, og dermed hvordan de endres og påvirkes av (disruptive) utviklingstrekk (Ottemöller og Friedrich, 2016). Til dette må endringer, sammenhenger, og relasjoner kunne kvantifiseres. I tillegg er det viktig at inputdata, eksempelvis prognoser for fremtidig transportetterspørsel, er representative, da slike prognoser er sentral input i transportmodeller (Ekspertutvalget, 2019). Ettersom flere av utviklingene i tillegg vil kunne skje relativt raskt, må også modelloppdateringer kunne skje raskt. Selv om det er krevende å modellere ny teknologi inn i beregninger av fremtidig transportetterspørsel og kapasitetsbehov, er dette svært viktig metodisk utviklingsarbeid som det må arbeides kontinuerlig med, og der løsningen krever forskning og samarbeid på tvers av dagens organisatoriske enheter i transportsektoren.

Andre vurderinger (enten i selve transportmodellene eller i avledede beregninger) gjelder hvordan det tas hensyn til sikkerhets- og miljøegenskaper ved morgendagens kjøretøy, bl.a. med tanke på eksterne skadekostnader gjennom (reduerte) lokale og globale utslipp og trafikkulykker.

2.3 Oppsummering

Litteraturgjennomgangen viser at de siste årenes utvikling i internasjonale og regionale godsmodeller i hovedsak har gått på å gjøre dagens modellstruktur (den såkalte 4-stegsmetoden) mer sofistikert. Sentrale utviklingstrekk har vært å inkludere flere aktører og valg i prosessene som ligger til grunn for logistikkbeslutninger, samt å modellere intermodale transportkjeder bedre. Det har vært noen forsøk på å modellere med disaggregerte data og å innføre et stokastisk element for å gjøre valg av transportmiddel mindre deterministisk og mer i tråd med empiriske data, men utfordringen for norske forhold har vært tilgang til konsistente grunnlagsdata på tvers av transportformer og for transportkjeder.

Også koblinger mellom nasjonale/regionale godsmodeller og bylogistikkmodeller, samt mot persontransportmodeller, har vært gjenstand for diskusjon i flere artikler, men foreløpig er det gjort lite konkret arbeid på dette området.

Pågående samfunnstrender, og særlig teknologisk utvikling, har imidlertid potensiale til å endre fremtidens godstransport betydelig, sammenliknet med hvordan transportsystemer fungerer i dag. Dette har implikasjoner for godstransportmodeller, gjennom bl.a. endringer i kostnader, transportmidler, valgmuligheter og godsstrømmer.

Ettersom endringer gjerne skjer raskt er prognoser på mellomlang til lang sikt utfordrende og det er derfor nødvendig med innovasjon i godstransportmodellering (Meersman m.fl., 2016). Nye data og «big data» vil til en viss grad kunne berike data og innsikter i relasjoner som benyttes i godstransportmodeller i dag. Litteraturen peker imidlertid også på en rekke utfordringer rundt slike nye datakilder. Dette diskuteres nærmere i kapittel 4.

3 Urbane godsmodeller

3.1 Utvikling og behov for urbane godsmodeller

Den moderne forskningen på modellering av godstransport i byområder begynte på 1970-tallet og har således hengt etter utviklingen for nasjonale og regionale godstransportmodeller (Gonzalez-Feliu, 2019; Kaszubowski, 2019a; Guaman, 2019). Det er flere årsaker til dette og disse årsakene illustrerer samtidig hvorfor det er behov for å modellere godstransport i byområder spesifikt og ikke som en del av nasjonale/regionale modeller.

For det første er bylogistikk preget av høyere grad av kompleksitet og endring (spesielt med tanke på leveringsmønster, laste- og losseprosesser, arealbruk, variasjon mellom soner og identifisering av innsatsvarer, mellomleveranser og sluttleveranser for produkter»), noe som gjør det vanskeligere å modellere detaljerte logistikkprosesser i byer samtidig som brukerterskelen ikke blir for høy for sluttbrukeren (Guaman, 2019; Kaszubowski, 2019a). Sakai m.fl. (2018) legger til at bylogistikk er preget av stor heterogenitet av både aktører og godstyper.

Kaszubowski (2019a) påpeker i forlengelse av dette at det er umulig å anvende eksisterende nasjonale/regionale modeller direkte på grunn av spesifikke egenskaper til urban godstransport. Blant viktige forskjeller er for eksempel at urbane leveranser har en annen sendingsstørrelse enn leveranser mellom byer, som har vært hovedfokuset i tidligere forskning. Ifølge Sakai m.fl. (2020a) er imidlertid urbane sendingsstørrelser ikke blitt analysert i tilstrekkelig grad. Et annet viktig poeng er at godsstrømmer i byer ofte har en annen organisering enn langtransporter og transport mellom byer. Gonzalez-Feliu og Routhier (2012) anfører for eksempel at rundt 75 % av byleveranser og -hentinger utføres som del av distribusjonsrunder, og at slike runder finnes i mange varianter. Øvrige ca. 25 % av leveransene i by karakteriseres som direkteturer. Videre beskriver Gonzalez-Feliu og Routhier (2012) at over halvparten av leveranse- og henteoperasjoner i by utføres som egentransport (og dermed kan avvike fra andre typer transporter). Forfatterne påpeker også at variasjonen i kjøretøystørrelser, lastenheter og utnyttelsesgrad pleier å være større ved bydistribusjon enn ved langdistansetransport og at dette er en av grunnene til at relasjonen mellom tonnkm og kjøretøykm kan være svært komplisert for transport i byområder. Ifølge forfatterne innebærer dette at de fleste eksisterende «top-down»-modeller ikke vil gi en representativ konvertering av varestrømmer til kjøretøystrømmer (og distribusjonsrunder heller enn separate turer) og at modellresultater kan vise seg å avvike sterkt fra transportsituasjonen i praksis, f.eks. ved validering av modellen mot trafikktegninger.

McLeod og Curtis (2020) påpeker at urban godstransport i tillegg er i kontinuerlig endring, bl.a. fordi det hele tiden gjøres endringer i allerede komplekse forhold. Som eksempler gis endringer i måten gods transporteres på, som følge av (sensitivitet for) endringer i transportpriser, eiendomspriser, arealbruk, konkurransegrunnlag og andre markedsfaktorer. Dette gjelder bl.a. en trend mot økt transportkvalitet (høyere transportfrekvenser) som medfører dårligere kapasitetsutnyttelse av kjøretøyene.

To ytterlige grunner til at utviklingen av modeller for urban godstransport har hengt etter er modellenes databehov vs. tilgjengelighet på tilstrekkelig detaljerte data, samt begrenset

overførbarhet av modeller til andre geografiske områder (Sakai m.fl., 2018; Ter Laag, 2019). Dette diskuteres nærmere i kapitlene 3.4 og 4.

En fjerde og ikke ubetydelig grunn til at modellering av godstransport i by har hengt etter, er ifølge Toilier m.fl. (2018) at godstransport i byområder lenge vært en nedprioritert del av den urbane politikken, noe som igjen kan ha sammenheng med at det har vært svært lite kvantitativ informasjon tilgjengelig på dette området.

I praksis har litteratur om bylogistikk i hovedsak omhandlet byer med høy økonomisk aktivitet (Guanman, 2019) og de fleste forsøk på urbane godsmodeller har vært rettet mot lokale myndigheter (Kaszubowski, 2019a). Slike forsøk har imidlertid vært begrenset til utvalgte modeller og vanligvis i det landet modellene ble utviklet, noe som ifølge Kaszubowski tyder på en klar sammenheng mellom strukturen i tilgjengelige data og individuelle metoder for datainnsamling. Kaszubowski finner videre at kun fire godstransportmodeller har blitt brukt eller er tilgjengelig som kommersiell software. Dette tyder ifølge forfatteren på at det er begrenset med løsninger som er klare til direkte bruk av urbane godsmodeller, men at det vanligvis vil kreve en tids- og ressurskrevende implementering.

I en annen artikkel konkluderer Kaszubowski (2019b) at lokale myndigheter ofte har en mindre systematisk og ad-hoc-preget tilnærming til urban godstransport og at myndigheter ofte mangler klart definerte policymål og krav til hva transportmodeller bør kunne svare på. Dette er ifølge forfatteren en av årsakene til at modeller for urban godstransport i praksis er underutnyttet av lokale myndigheter, i tillegg til usikkerhet knyttet til modellenes funksjonalitet.

3.2 Ulike metoder og rammeverk

Modeller for (urban) godstransport har ulike tilnærminger og kan klassifiseres på ulike måter. Anand m.fl. (2015) fokuserer for eksempel spesielt på hvem modellene er laget for og hva som er hensikten med modellene. Basert på en gjennomgang av litteraturen konkluderer forfatterne med at de aller fleste urbane godsmodeller er utviklet fra transportmyndighetenes ståsted og med transportmyndigheten som den viktigste interessenten, noe som er i samsvar med funn til Kaszubowski (2019a). Anand m.fl. (2015) påpeker videre at til tross for at godstransport i by er et resultat av flere aktørers roller og interesser, er perspektivet til slike aktører kun inkludert i de færreste av eksisterende modeller.

Comi m.fl. (2012) tar en annen innfallsvinkel og kategoriserer urbane godsmodeller basert på modellenes planleggingshorisont, hvor det skilles mellom tre alternativ:

- Strategisk planleggingshorisont: Egnet til å ta beslutninger på lengre sikt, og som involverer større infrastrukturprosjekter. Modellene bør også ta hensyn til interaksjon mellom transport- og arealbruksdimensjonene (såkalte LUTI-modeller).
- Kort- og mellomlang planleggingshorisont: Egnet til taktiske beslutninger med begrensede ressurser og infrastrukturprosjekter. Eksempler er laste- og lossesoner, vegprising osv.
- Kortsiktig planleggingshorisont. Egnet til å ta beslutninger på et operativt nivå som kan gjennomføres fort, slik som innføring av tidsbegrensninger for bydistribusjonsaktiviteter.

Gonzalez-Feliu og Routhier (2012) klassifiserer på sin side urbane godsmodeller basert på følgende fire elementer:

- Modellens formål (f.eks. diagnostisk, simulering/optimering, framskrivning, beslutningsstøtteverktøy osv.)
- Modellenhet (f.eks. turer/distribusjonsrunder, godsmengde, aktivitet)
- Modelloppbygging (f.eks. top-down eller bottom-up)
- Modellens detaljnivå (f.eks. aggregert eller disaggregert modell)

I en senere artikkel deler en av forfatterne inn eksisterende modelltyper i en av tre ulike kategorier (Ducret og Gonzalez-Feliu, 2015):

- **Etterspørselstimeringsmodeller**, hvor hovedhensikten er å estimere etterspørselen etter gods i et byområde og å relatere etterspørselen til sosioøkonomiske og romlige karakteristikker i området.
- **Optimeringsmodeller med fast etterspørsel**, hvor modellene optimerer transportmiddel- og rutevalg.
- **Simuleringsmodeller med mange aktører**, hvor modellene forsøker å simulere ulike interessenters adferd.

I de to sistnevnte modellgruppene er etterspørselen satt eksogent. Uansett er det behov for å beregne etterspørselen i byområdet, slik at disse modellene er avhengig av input fra den første gruppen av modeller og bygger derfor på dette. Dette er også grunnen til at det meste av den eksisterende litteraturen handler om etterspørselstimeringsmodeller og at vi i den videre litteraturgjennomgangen hovedsakelig vil fokusere på modeller i denne gruppen.

Også når det gjelder etterspørselsmodeller består litteraturen av mange forskjellige tilnærminger. Gonzalez-Feliu (2020) konkluderer med at det ikke finnes ett enhetlig eller standard rammeverk, men at det er en egenskap som de fleste etterspørselsmodeller for urban godstransport har til felles: De trenger en genereringsfase som definerer varestrømmer og varestrømmenes egenskaper. Denne fasen estimerer strømmer, enten hos avsender, hos mottaker eller begge deler. De øvrige modelleringsfaser i etterspørselsmodeller, og som også varierer mellom ulike modeller, er i hovedsak knyttet til segmentering og geografisk fordeling av genererte varestrømmer.

For å klassifisere etterspørselsmodeller viser Ter Laag (2019) til to mye brukte klassifiseringer, hhv. Gonzalez-Feliu m.fl. (2014) og Comi m.fl. (2012).

Klassifiseringen til Gonzalez-Feliu m.fl. (2014) tar utgangspunkt i modellenes struktur og skiller mellom klassiske 4-stegsmodeller, 4-stegsmodeller med godsspesifikke tilpasninger, kombinerte modeller og modeller som bruker «kategoriklassen» og hvor bedrifter fordeles i klasser, som deretter danner grunnlaget for godsgenerering.

Comi m.fl. (2012) differensierer mellom fire tilnærminger for modellering av etterspørsel etter godstransport i by:

- Varestrømsbasert etterspørselsmodellering
- Kjøretøybasert etterspørselsmodellering
- Leveransebasert etterspørselsmodellering
- Blandingsmodeller

Ettersom de fire tilnærmingene er basert på ulike referanseenheter varierer også modellstrukturen, men modellenes output er den samme, og består av kjøretøyspesifikke OD-matriser (Ter Laag, 2019). I godsmodeller skiller det mellom OD-matriser (opprikkelse-destinasjon) og PC-matriser (produksjon til konsum), men begrepene brukes i noen grad om hverandre. PC-matriser er gjerne inngangsmatrisene til en godsmodell, mens OD-matrisene er matriser som er fordelt på ulike transportlegg, som f.eks. fra produksjonsbedrift til jernbaneterminal, mellom jernbaneterminaler (med tog) og fra

jernbaneterminal til sluttkunde. I et bylogistikkperspektiv kan mellomledd også være f.eks. oppsamlingsterminaler.

I en senere artikkel konsoliderer Comi (2020) denne kategoriseringen av etterspørselsmodeller for gods i «varestrømsmodeller» og «logistikkmodeller».

Varestrømsmodeller omhandler i den forbindelsen varekjøp og påfyll av lagre, bruker i hovedsak makrosimulering for simulering av varestrømmer mellom soner, og kan i sin tur danne input for logistikkmodeller. Logistikkmodeller ser på leveransenivået og har i nyere tid vært rettet mot mikrosimulering i et forsøk å få fram samspillet mellom alle aktører og hvilke kjøretøyturer som genereres.

Basert på disse diskuterte klassifiseringer konkluderer Ter Laag (2019) at alle modeller for urban logistikk starter med etterspørselsgenerering og har en output som består av kjøretøyspesifikke OD-matriser som kan legges ut i vegnettet.

3.3 Eksempler på internasjonale modeller

I denne seksjonen gir vi først en oversikt over noen av de mest kjente internasjonale modellene for urban(-regional) godstransport. Deretter diskuteres de ulike modellenes egenskaper og eksempler etter Comi sin inndeling i varestrømbaserte, kjøretøybaserte og leveransebaserte modeller, i tillegg omtales et nylig forsøk på en agentbasert mikrosimuleringsmodell. Deretter diskuteres noen aktuelle problemstillinger og utfordringer samt løsningsforslag rundt modelloverførbarhet til andre geografiske områder.

3.3.1 Eksisterende modeller for urban godstransport

Ter Laag (2019, s. 19-20) gir en oversikt over eksisterende modeller for godstransport i by i figur 3.1 og beskriver modellene etter syv variabler:

- 1) Geografisk område
- 2) Fokusområde (policy, utslipp)
- 3) Kategori (varestrøm, kjøretøy, leveranser)
- 4) Modellstruktur
- 5) Underliggende data
- 6) Om modellen er benyttet til å teste ulike politikkstrategier
- 7) Hvorvidt modellen lett kan overføres til andre geografiske områder

Reference	Urban area(s)	Focus	Category	Modelling structure	Underlying data	Policies tested	Easy spatial transferability?
Visser and Maat (1996)	Delft (NL)	Environment	Vehicle	Combined	Establishment	N	N
Boerkamps and Van Binsbergen (1999)	Groningen (NL)	Environment	Commodity	Adapted four-step	Socio-economic, establishment	Y	N
Russo and Comi (2002)	Calabria (IT)	Policy	Commodity	Adapted four-step	Socio-economic, establishment	N	N
Friedrich et al. (2003)	DE cities	Unclear	Vehicle	Classical four-step	Establishment	N	Y
Hosoya et al. (2003); Wisetjindawat and Sano (2003); Wisetjindawat et al. (2007)	Tokyo (JP)	Emissions	Commodity	Adapted four-step	Establishment	Y	N
Yannis et al. (2006)	Athens (GR)	Policy, Environment	Vehicle	Combined	Socio-economic	Y	N
Beagan et al. (2007)	Los Angeles (US)	Policy	Vehicle, commodity	Adapted four-step	Socio-economic, establishment	Y	N
Beagan et al. (2007); Donnelly et al. (2010)	US cities	Policy	Commodity	Combined	Establishment	Y	Y
Hunt and Stefan (2007)	Calgary (CA)	Policy	Commodity	Combined	Socio-economic, establishment	Y	Y
Routhier and Toilier (2007), Toilier et al. (2018)	FR cities	Policy	Delivery	Combined	Establishment	Y	Y
Kanaroglou and Buliung (2008)	Hamilton (CA)	Emissions	Vehicle	Combined	Socio-economic	N	Y
Muñuzuri et al. (2009, 2010, 2011)	Seville (ES)	Policy	Delivery	Adapted four-step	Establishment	N	N
Russo and Comi (2010)	Calabria, Palermo (IT)	Policy	Delivery	Adapted four-step	Socio-economic, establishment	N	N
Urban et al. (2012)	Chicago (US)	Policy	Commodity	Combined	Socio-economic	N	N
Ferguson et al. (2012)	Toronto (CA)	Policy	Commodity	Adapted four-step	Socio-economic, establishment	N	N
Lawson et al. (2012)	New York (US)	Unclear	Vehicle	Classical four-step	Socio-economic, establishment	N	N
Nuzzolo et al. (2012); Nuzzolo and Comi (2014); Nuzzolo et al. (2016)	Rome (IT)	Policy	Mixed: vehicle, commodity, delivery	Adapted four-step	Establishment	N	Y
Gentile and Vigo (2013)	Emilia-Romagna (UT)	Policy	Delivery	Adapted four-step	Establishment	N	N
Alho and De Abreu e Silva (2014)	Lisbon (PT)	Unclear	Delivery	Combined	Socio-economic, establishment	N	N
Aditjandra et al. (2016)	Newcastle (UK)	Emissions	Vehicle	Combined	Establishment	Y	N
Anand et al. (2014)	Rotterdam (NL)	Policy	Delivery	Combined	Establishment	Y	N
De Bok and Tavasszy (2018)	Rotterdam (NL)	Policy	Vehicle	Combined	Establishment	Y	N

Figur 3.1. Oversikt over eksisterende urbane godsmodeller. Kilde: Ter Laag (2019, s.19-20).

3.3.2 Varestrømbaserte etterspørselsmodeller

Estimering av varestrømmer er en av de viktigste komponenter i en framskrivningsmodell, uansett om modellen er nasjonal, regional eller urban. De fleste tidligere tilnæringer for varestrøimestimering er basert på aggregerte data. Disaggregerte data (f.eks. bedriftsspesifikke varestrømmer) er som oftest ikke tilgjengelig, og derfor brukes fortsatt ofte sone-til-sonenivå for varestrøimestimering (Sakai m.fl. 2018).

De varestrømbaserte etterspørselsmodellene tar utgangspunkt i mengden varer som skal fraktes, og estimering av OD-matriser på kjøretøynivå gjøres gjennom en sekvens av modeller (Comi m.fl., 2012):

- Attraheringsmodell: Etterspørsel etter varestrømmer estimeres for hver sone basert på en funksjon av sosioøkonomiske data.
- Opprinnelsesmodell («Acquisition model»): Beregner i hvilke produksjonssoner varestrømmene oppstår, noe som gjør det mulig å estimere PC-varestrømsmatriser i kombinasjon med attraheringsmodellen.
- Mengde-til-kjøretøy-modell: Varestrømmer mellom soner fordeles på kjøretøy.

Det finnes mest litteratur som omhandler varestrømbaserte etterspørselsmodeller. For hver av disse modellmodulene finnes ulike internasjonale tilnæringer.

Attraheringsmodeller er vanligvis modeller der godsvolum estimeres per mottagende sone basert på en lineær funksjon av sonens sosioøkonomiske data. Ogden (1992) foreslo for eksempel at volumene for ulike godstyper estimeres basert på antall sysselsatte i ulike næringer, i tillegg til populasjon og antall husholdninger i sonen.

Når mottaker av godsvolumer er bestemt, er neste steg å identifisere hvor avsender befinner seg. Det finnes ikke mange slike modeller på urbant nivå, hovedsakelig på grunn av manglende datakvalitet. Mulige varianter er gravitasjonsmodeller (Ogden, 1992) eller en form for stokastisk modell. Nuzzolo m.fl. (2009) foreslår en modell som bruker antall sysselsatte i engroshandel og generaliserte reisekostnader mellom par av soner.

Når varestrømmer mellom sonepar er etablert, må disse volumene tildeles kjøretøy. Dette steget er komplekst fordi det er mange ulike forhold som kan påvirke fyllingsgraden på kjøretøyene, samt om varene leveres direkte eller som en del av en distribusjonsrunde. Det finnes en rekke ulike tilnæringer til å løse disse utfordringene, noe som er beskrevet nærmere i avsnittene 3.3.3 og 3.4.1.

3.3.3 Kjøretøybaserte etterspørselsmodeller

Gruppen med kjøretøybaserte modeller er basert på standard 4-steps tilnæringer og har som hovedmål å estimere antall turer med tunge godskjøretøy. Ofte brukes trafikktegninger til dette, men disse mangler viktig informasjon. Dette ble senere løst ved å kombinere etterspørselsgenerering og estimering av PC-matriser for gods med estimering av turrekkefølge og OD-matriser for turer. Slike modeller kan dekke ikke bare enkelturer men også turer som utgjør en del av distribusjonsrunder som er typiske for transport i by (Kaszubowski, 2019a).

For de kjøretøybaserte modellene er det typiske at etterspørselen estimeres ved å generere turer basert på arealbruk og størrelsen på bedrifter i ulike deler av byen. Deretter fordeles varestrømmer basert på en form for gravitasjonsmodell. En utfordring med metoden er hvordan distribusjonsrunder modelleres. Det er ulike metoder for dette, se kapittel 3.4.1.

Modellering av forsendelsesstørrelse er vanligvis basert på «economic order quantity» (EOQ) eller optimale forsendelsesstørrelser. Slik modellering er imidlertid ikke nødvendigvis representativ for leveranser i byområder. Kostnadsstrukturen for

byleveranser er mer kompleks, bl.a. fordi transporten i større grad består av distribusjonsrunder med flere stopp, i tillegg til mer dynamiske og uforutsigbare trafikkforhold og høyere kostnad knyttet til levering og parkering. Lagringsplass hos mottakere i by er ofte mindre, noe som påvirker transportbehovet (Sakai m.fl., 2020a).

Konverteringen fra godsstrømmer til kjøretøystømmer er et viktig steg i godsmodellering og viktig også for bygods (Sakai m.fl., 2020a). Ifølge Tavasszy m.fl. (2020) er sammenheng mellom transportmiddelvalg og forsendelsesstørrelse eller omlastingslokasjoner inkludert i noen studier, men uten å ta hensyn til mellomlagring på f.eks. engroshandelslagre. Gitt økende tilgjengelighet på turmønsterdata, finnes det nå nyere forskning på mer avanserte rute- og planleggingsvalg.

En sentral modell i denne kategorien er den såkalte Wiver-modellen. Dette er en modell for transport i byområder som først ble utviklet basert på undersøkelser i München, Berlin og Hamburg på 80-tallet (Gonzalez-Feliu m.fl. (2014)). Senere har modellen blitt videreutviklet i modellrammeverket VISEVA. Turene blir estimert basert på sosioøkonomiske variabler for ulike soner i byområdene, slik som befolkningsstørrelse og sysselsatte i ulike næringsgrupper. I tillegg kalibreres turgenereringen mot nasjonale/regionale adferdsundersøkelser som har vært utført i Tyskland siden 2002 (Ambrosini m.fl., 2008).

Antall genererte turer (VV_i) fra avsenderne i sone i er avhengig av en statistisk distribusjon av et kalibrert antall runder og besøkte mottagere per distribusjonsrunde:

$$VV_i = \sum_p (RK_{pi} - 1) * RA_{pi} * BG_{pi} * u_{pi}$$

Hvor:

BG_{pi} er verdien av produksjonsenhet p i sone i (for eksempel antall arbeidsplasser i ulike næringsgrupper)

RA_{pi} er antall distribusjonsrunder per produksjonsenhet p i sone i

RK_{pi} er antall turer per runde per produksjonsenhet p i sone i

U_{pi} er andelen av turene som er innenfor modellområdet

Modellen beregner tre turkategorier: Startturer, turer mellom leverings- eller hentesteder og slutturer. Basert på adferdsundersøkelser utarbeides sannsynligheter for hvordan distribusjonen fordeler seg mellom ulike soner på aggregert nivå. Modellen har derimot ikke info om distribusjonsmønster for den enkelte runde, men det beregnes turmatriser på aggregert nivå.

En fordel med Wiver-modellen er at den er fleksibel og kan brukes til å reflektere endringer i logistikksystemer og markedsstrukturer, men behovet for datainput for å kjøre modellen er høy (Ambrosini m.fl., 2008).

Ifølge Kaszubowski (2019b) er den franske modellen (FRETURB) mye enklere for lokale myndigheter enn Wiver, hvis det uansett skal utvikles nye systemer for datafangst. Forfatteren begrunner dette med at all nødvendig data i så fall vil kunne hentes innen selve byen (mens Wiver krever komplekse analyser av transportleverandører og deres aktiviteter).

Gjennom en vurdering av to omfattende godstransportmodeller og eksisterende transportmodeller for by (FRETURB og Wiver) konkluderer Kaszubowski (2019b) at disse byr på utfordringer hvis de skal brukes mot forvaltning av godstransport i by, ikke minst fordi nødvendige data mangler og/eller vil kreve at byenes systemer for innsamling av tilstrekkelige og relevante data for godstransport i by må endres vesentlig.

3.3.4 Leveringsbaserte etterspørselsmodeller

For leveringsbaserte etterspørselsmodeller er observasjonseenheten laste- og losseaktiviteter, det vil si de aktivitetene som forbinder aktørene som genererer og de som utfører transport. Ifølge Kaszubowski (2019a) er den største forskjellen mellom slike modeller hvordan informasjon samles og Ter Laag (2019) skiller mellom modeller som er basert på sosioøkonomiske data (enten for etterspørselsestimering eller nettverksestimering) og modeller basert på data for lokasjon til næringsbygg. Ifølge Ter Laag er fordelene ved førstnevnte at dataene i betydelig større grad er offentlig tilgjengelig.

Ifølge Kaszubowski (2019a) bør målet være å identifisere leveransemønstre og faktorer som påvirker leveransestruktur og som kan vise store lokale forskjeller. utfordringer ved å definere slike parametere (bl.a. hvor mange mottakere i et område som har mulighet til å bruke konsoliderte leveranser gitt bedriftens art og organisering) og ved å ta hensyn til lokal variasjon i tilstrekkelig grad, anses som grunn til at konsolideringssentre vanligvis ikke lykkes.

Datatilgjengelighet er en stor utfordring. Mottakere av gods kan være en viktig kilde til informasjon, bl.a. type og vekt til godset. Men disse mottakere har vanligvis lite presis informasjon om kjøretøytyper eller leveringstid. Derfor må data fra mottakere kombineres med data fra transportoperatører, som i tillegg er kilden for data om hvor en tur starter, slutter, samt kjøretøytype. I tillegg vil en kunne fastslå rutens distanse, turens varighet og hvordan leveranser er organisert (direkte eller i distribusjonsrunder). Problemet er imidlertid å kombinere begge typer datakilder i praksis (Kaszubowski, 2019a).

En kjent modell innenfor kategorien for leveringsbaserte etterspørselsmodeller er den såkalte FRETURB-modellen. Modellen er utviklet i Frankrike (Routhier and Toilier, 2007) og dekker et stort antall byområder i Frankrike, Belgia og Sveits (Ter Laag, 2019). Ifølge Kaszubowski (2019a) er FRETURB den eneste modellen som bruker data fra undersøkelser blant mottakere istedenfor blant transportleverandørene (Kaszubowski, 2019a). Ter Laag omtaler FRETURB-modellen som en leveransebasert modell, hvor eneste nødvendige input er detaljerte data om bedrifter lokalisert i en by. Ifølge Ter Laag kan slike data inneholde informasjon om lokasjon, næringskode, antall medarbeidere og areal for ulike firmaer. Forfatteren påpeker imidlertid at en utfordring ved å bruke slike data er at all nødvendig informasjon ofte ikke er offentlig tilgjengelig.

En annen modell innenfor denne gruppen er CityGoods, en italiensk modell som bygger på FRETURB-modellen og som bruker den europeiske standarden for næringsklassifisering (NACE) til å klassifisere mottakere/avsendere av gods og beregne bevegelser i transporten (Gentile og Vigo, 2006). Modellen har blitt testet i flere byer i en italiensk region og genererer matriser for leveringskjeder for flere byer, basert på omfattende undersøkelser av godsaktivitet. CityGoods-modellen er imidlertid begrenset til etterspørselsgenereringsfasen og kan ikke direkte sammenliknes med FRETURB eller Wiver.

FRETURB har blitt utviklet siden slutten av 90-tallet og er en modell som ivaretar arealbruk og at distribusjonsrunder inneholder flere stopp underveis (Ambrosini m.fl., 2008). Den består av tre moduler som er i interaksjon med hverandre:

- Hente- og leveringsmodell som inneholder varestrømmer mellom alle økonomiske aktiviteter i en by
- «Bystyringsmodul» (Town Management Module) som inneholder transport av gods og råmaterialer i forbindelse med bygging og vedlikehold av offentlige bygninger og infrastruktur
- Innkjøpsreisemodell (Purchasing trips model) som modellerer innkjøpsreiser med bil, som representerer hoveddelen av «last mile»-turene til konsumentene.

Hente- og leveringsmodellen er basert på undersøkelser av sammenhengen mellom vareeiere og transportører. Basert på dette beregnes kjøretøysbevegelser for levering og henting av gods for ulike typer virksomheter basert på næringstilhørighet, virksomhetens funksjon (detaljist, lager, kontor, hovedkontor osv.) og antall sysselsatte i virksomheten. Videre estimeres turdistanser, og det er en funksjon for å modellere distribusjonsrunder basert på en rekke faktorer. Dette gir OD-matriser for kjøretøy mellom soner i byområdene. For flere detaljer om utregninger i modellen, se Ambrosini m.fl. (2008).

3.3.5 Agentbaserte mikrosimuleringsmodeller

På bakgrunn av et innlegg på konferansen 'Forum on Integrated and Sustainable Transportation System' i september 2020, gis det i dette avsnittet en kort omtale av agentbaserte mikrosimuleringsmodeller.

GoodTrip-modellen (Boerkamps m.fl., 2000) omtales som en av første generasjons «agentbaserte» modeller for mikrosimulering av urban godstransport. GoodTrip-modellen var blant de første til å simulere sammenhenger mellom ulike aktører (avsender av godset, transportør, mottaker og myndighetene) for estimering av godstrafikk. GoodTrip-modellen introduserte videre leveransekjeder og distribusjonskanalen i godsdistribusjonsprosessen.

Sakai m.fl. (2020b) presenterer et rammeverk for en simuleringsmodell for urban godstransport (SimMobility Freight), som del av det overordnede rammeverket «SimMobility». Dette er et forsøk på å integrere «agentbaserte» simuleringsmodeller for både person- og godstransport og har så langt vært brukt i Boston og Baltimore i USA, samt i Singapore.

Simuleringsplattformen SimMobility og Freight-modulen er tilgjengelig i open source og som input brukes bl.a. informasjon om bedrifter og bedriftsegenskaper og godsbilbestanden, uten at det er nødvendig med økonomiske data som input-output-modeller.

Modellrammeverket er basert på simulering av både urban person- og godstransport hvor det hensyntas beslutninger i tre forskjellige tidsdimensjoner, representert ved moduler for lang, mellomlang og kort sikt. Langtid fokuserer på strategiske beslutningsvalg slik som lokasjoner for boliger, kommersielle aktiviteter, kontorer, kjøretøyeierskap, parkering osv. Mellomlang ivaretar beslutninger som er direkte knyttet til daglige aktiviteter, slik som ruteplaner for reiser, leveranser, bruk av transportsystemet og kjøretøy, rutevalg osv. Korttidsdimensjonen brukes til mikrosimulering av kjøretøyadfærd på vegnettet, på detaljert nivå. Tidsdimensjonene for person- og godstransport tar utgangspunkt i den samme databasen med informasjon om «agentene» (som kan være individer, husholdninger og bedrifter), arealbruk, transport og aktiviteter. Sammenhengen mellom ulike tidsdimensjoner og mellom simuleringer for gods- og persontransport skjer gjennom den delte databasen. Kjernekomponentene til SimMobilitys Freight-modul er estimering av transportavtaler («commodity contracts»), logistikkplanlegging og bruk av godskjøretøy og skal fange opp sammenhenger mellom arealbruk, godsstrømmer, trafikk med godskjøretøy og forhold i transportnettverket. Rammeverket kan videre utvides med f.eks. valg av parkering av godskjøretøy over natten eller ved leveranser. Rammeverket er basert på en disaggregert tilnærming som muliggjør at det under simuleringen hensyntas disaggregerte egenskaper og sammenhenger ved valg (hvor det eksempelvis omtales godstype, godsgenerering, valg av leverandør osv.).

Estimeringene i Freight-modulen følger ovennevnte tidsdimensjoner. I langtidssimuleringen estimeres transportavtaler (som i sin tur påvirker godsstrømmer mellom bedrifter og er inndelt i ni varetyper) og parkeringsvalg for godskjøretøy over natten, basert på data om (fra) bedrifter, kjøretøy og parkeringsmuligheter. Estimering av

transportavtaler utføres i tre steg eller moduler som går på godsgenerering, leverandørvalg og valg av sendingsstørrelse/-frekvens. Årlige volum av produksjon hos leverandører og konsum hos mottakere fordeles over én eller flere transportavtaler, og leverandørvalg simuleres i to steg: generering av etterspørsel basert på transportavtalene, fulgt av leverandørvalg. Simulering av sendingsstørrelse/frekvens er deretter basert på EOQ (Economic Order Quantity). I disse stegene er bedrifter spesielt viktig i SimMobility, ettersom transportavtaler og logistikkplanlegging simuleres på bedriftsnivå. I rammeverket etableres en syntetisk bedriftsbestand basert på forskjellig bedriftsstatistikk og hvor alle bedrifter deles inn etter antall ansatte, areal, funksjonstype (5 alternativer), næringstype (12 alternativer) og godsbileierskap.

I modulen for mellomlang sikt konverteres godsstrømmer til kjøretøybruk og -bevegelser og trafikkforhold. Dette gjøres gjennom en konvertering av godsstrømmer til logistikkplaner foregående dag, som definerer kjøretøybevegelser, herunder hvor de stopper for levering/henting/parkering, samt tidspunkter for dette. Til dette hensyntas også f.eks. tidsvinduer for levering, valg av transportør mm. Deretter gjøres simulering for en spesifikk dag for å definere rutevalg gitt forhold i nettverket. Den viktigste inputen til disse simuleringene består av transportavtalene og informasjon om godsbilbestand, mens også godsbilsjåfører behandles som «beslutningsagenter». I gjeldende modellversjon er imidlertid ikke husholdninger inkludert som mottakere eller leverandører, men dette forventes implementert i fremtiden.

Simuleringen for korttidsmodellen består av en simulator for mikrosimulering av trafikkbevegelser.

Figur 3.2, hentet fra Sakai m.fl. (2020b, s.4) oppsummerer hvordan rammeverket henger sammen.

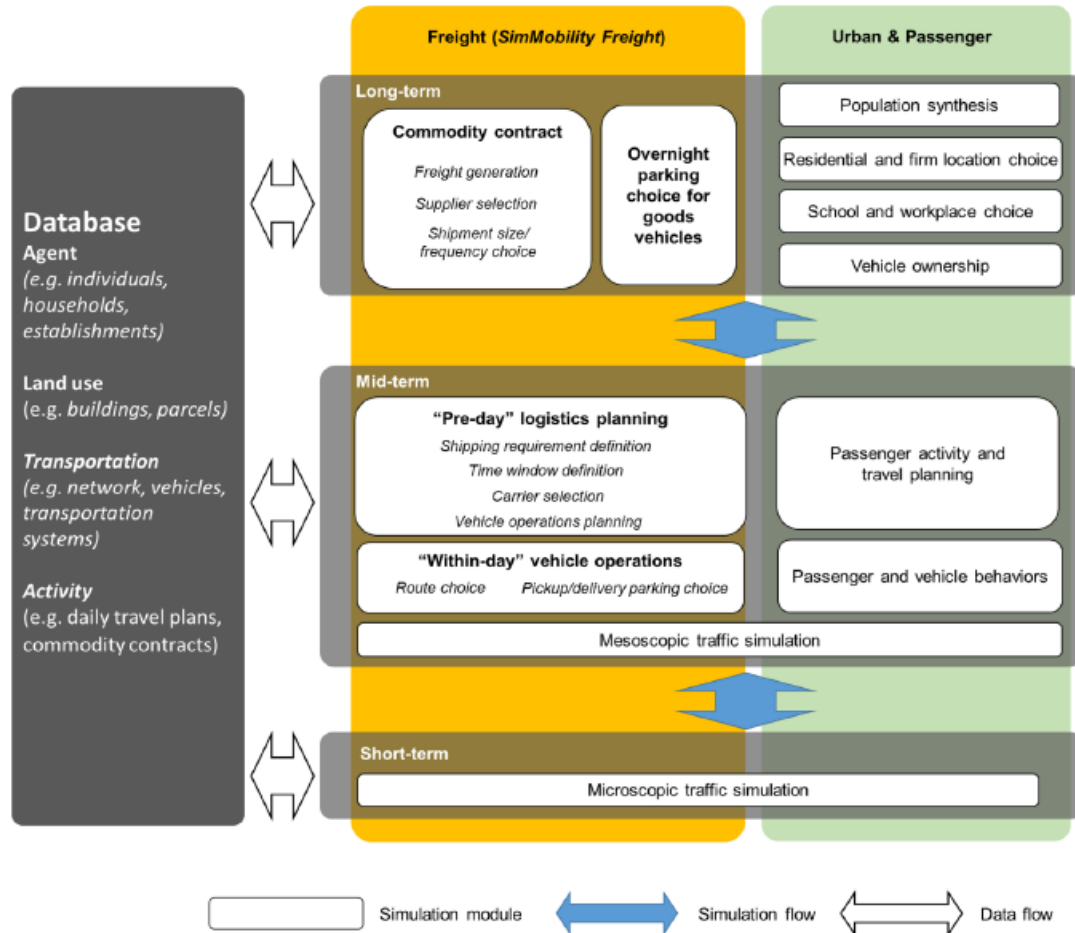


Fig. 1. Main components of SimMobility with details on SimMobility Freight.

Figur 3.2. Kjernekomponenter i SimMobility og detaljer om SimMobility Freight. Kilde: Sakai m.fl. (2020b, s.4).

Ettersom modellen er helt disaggregert, er fordelene at operasjonell effektivitet kan vurderes på et svært detaljert nivå, f.eks. enkeltbedrifter, transportavtaler, forsendelser og godskjøretøy. Modellen hensyntar videre komponenter som ikke tidligere har blitt brukt. Som eksempel gis konverteringen fra årlig «forbruk» til «avtalebasert» etterspørsel. Videre tas det hensyn til distribusjonskanal og sammenhenger ved valg av leverandør, samt til beslutninger knyttet til parkering av godsbiler over natten. Ved konvertering av forsendelser til turer tas det også hensyn til tidsvinduer for levering og eierskap til kjøretøyene, på måter som ikke har blitt brukt tidligere.

3.4 Noen aktuelle problemstillinger

Fordi leveransekedjer blir stadig mer komplekse er det ifølge Tapia m.fl. (2020) et stort behov for (bruk av) disaggregerte modeller for logistikkadferd, ettersom godstransport omfatter flere beslutningstakere som det er viktig å kunne hensynte preferansene til, ettersom de påvirker ulike beslutningsvalg.

3.4.1 Modellering av distribusjonsrunder

En særskilt utfordring med å modellere godstransport i byområder er å modellere leverings- og hentemønstre. Varestrømmer skal fordeles på kjøretøy og ofte som en del av en

distribusjonsrunde med flere stopp underveis. I den forbindelse er det viktig å skille mellom PC-matriser for varestrømmer og OD-matriser for kjøretøy. Nuzzolo m.fl. (2020) fastslår at det i litteraturen har blitt foreslått forskjellige modeller for estimering av kjøretøymatriser, men at få av disse fokuserer på utfordringer ved konvertering av volumer (eller leveranser) til turer (kjøretøybevegelser). Nuzzolo m.fl. anfører også at turgenerering og turrekkefølge er viktige elementer for godstransport i by og storbyområder.

Det er derfor utviklet såkalte rundebaserte tilnærminger («tour-based approaches») som erstatter de tradisjonelle turbaserte tilnærmingene. I litteraturen er det i hovedsak to ulike tilnærminger til å estimere distribusjonsrunder (Comi m.fl., 2012):

Disaggregerte modeller

Den første tilnærmingen består av disaggregerte modeller, hvor stoppmønsteret i distribusjonsrunder beregnes ved hjelp av mikrosimulering/-optimalisering basert på ulike prinsipper. Dette kan for eksempel være:

- *Logistikkbeslutninger.* I modellen GoodTrip (Boerkamps m.fl., 2000) simuleres leveringsmønster for kjøretøy basert på varestrømsmatriser og beslutninger i verdikjeden gjennom de ulike distribusjonskanaler. Ulike aktivitetstyper er definert (f.eks. konsumenter, supermarkeder, kontorer, distribusjonssentre, produsenter osv.) og disse setter føringer på hvordan leveringsmønsteret med kjøretøyene utføres, for eksempel er det definert et maksimalt antall stopp per distribusjonsrunde for de ulike aktivitetstypene. Sakai m.fl. (2018) omtaler GoodTrip som en disaggregert modell hvor godsstrømmer estimeres på aktør-til-aktør-nivå.
- *Adferdsmodeller.* I en modell for Calgary, Canada, brukes en større undersøkelse av forsendelser og tilknyttede kjøretøybevegelser som et grunnlag til å lage en simuleringsmodell for stoppmønstre. Mikrosimuleringer bruker Monte Carlo teknikker for å tildele rundens formål, kjøretøytype, og hhv. formål, lokasjon og tidslengde på neste-stopp (Stefan m.fl., 2005).

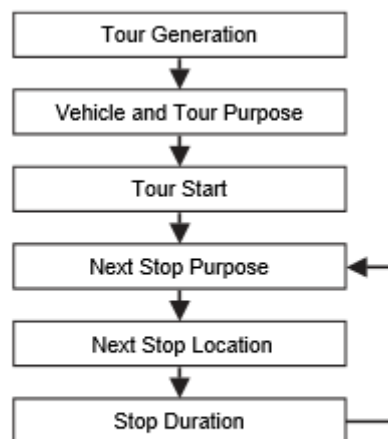


FIGURE 1 Process flow of Calgary CVM model.

Figur 3.3: Estimering av stopp på distribusjonsrunde basert på adferdsdata. (Stefan m.fl., 2005).

- *Profittmaksimerende adferd.* Det er gjort forsøk på å inkludere bedriftenes profittmaksimerende adferd og markedslikevekt som input til å simulere adferd i leveransemønstre (Thorson, 2005).

Gomez-Marin m.fl. (2020) anfører at mikrosimulering har vært lite brukt i logistikkprosesser rundt godstransport i by, men at mikrosimulering kan ha et stort potensiale for analyse og løsning av dynamiske problemer som er typisk for godstransport i by. Dette illustreres med eksempler som bestillinger som blir endret, leveranser som blir utsatt, (korte) tidsvinduer for levering, osv.

En ulempe med de disaggregerte modellene er at det er vanskelig å simulere adferd på mikronivå; Det krever store mengder data som skal representere adferden til ulike beslutningstakere i bylogistikken, noe som er vanskelig å lykkes med i praksis. Det er også sannsynlig at tall som aggregeres opp fra mikronivå ikke stemmer med andre empiriske data på aggregert nivå. En annen tilnærming for å simulere leveringsmønstre i distribusjonsrunder er derfor aggregerte modeller:

Aggregerte modeller

Den andre tilnærmingen består av aggregerte modeller, hvor man tar utgangspunkt i gjennomsnittlig adferd for sendingsstørrelse, leveringsmønstre osv. som starter i de samme avsenderpersonene. For å definere leveringsmønstre på distribusjonsrunder finnes det ulike typer diskrete valgmodeller som estimerer sannsynligheter for at et kjøretøy velger et neste stopp på distribusjonsrunden eller avslutter og kjører tilbake til startstedet. Utfordringen her ligger i å finne de riktige variablene som forklarer denne beslutningen.

- I Wang og Holguín-Veras (2008) fant man 7 attributter som hadde signifikant effekt på leveringsmønstre. Valg av neste destinasjon på en runde var negativt korrelert med distansen fra gjeldende posisjon til potensiell destinasjon og positivt korrelert med mengden av varer som var tilgjengelig for levering/innhenting. For beslutningen om å returnere til startsted fant forfatterne at sannsynligheten reduseres i takt med avstanden fra gjeldende posisjon til startsted, og øker i takt med mengde varer som er levert.
- Hunt og Stefan (2007) har i sin bymodell for Calgary logit-modeller hvor sannsynligheten for at kjøretøyet stopper på en potensiell neste lokasjon er en funksjon av antallet tidligere forretningsrelaterte stopp på runden, antall øvrige stopp på runden, akkumulert tid på runden, samt tilgjengelighet for gjeldende posisjon i forhold til sysselsetting i alle potensielle soner for kjøretøytypen som brukes.

3.4.2 LUTI-modeller (sammenheng mellom transportsystem og arealbruk)

Hansen m. fl. (2017) gir en beskrivelse av Land-Use/Transport Interaction (LUTI)-modeller. Dette er en modellklasse som søker å estimere den langsiktige byutviklingen gjennom samspillet mellom tre hovedfaktorer: Transporttjenester, befolkningsvekst og arealutvikling, gitt visse eksogene faktorer som for eksempel inntektsutvikling. LUTI-modeller er et verktøy for helhetlige analyser av samspillet mellom transporttettersspørsmål og arealbruk. En LUTI-modell består tradisjonelt av en transportkomponent og en arealbrukskomponent. Disse to separate modellkomponentene er linket sammen for å fange samspillet mellom arealutvikling og transporttettersspørsmål.

I konvensjonelle transportmodeller inngår arealbruken som eksogen forklaringsvariabel for å predikere transportarbeidet. Dette blir gjort ved å inkludere plasseringen til forskjellige aktiviteter (hjem, arbeid, butikker, osv.), og generere eller fordele turer ut fra plasseringen til og avstanden mellom disse aktivitetene. Det som skiller en LUTI-modell fra en tradisjonell transportmodell er at selve plasseringen til forskjellige aktiviteter (arealbruken)

blir gjort endogen, ved å bli påvirket av transportsystemet. Dermed vil modellen ikke bare predikere transportsystemet, men også arealbruken.

Det er ikke mange forsøk på atferdsmessig realistiske etterspørselsmodeller etter godstransport som kan integreres i et LUTTI-rammeverk. Sivakumar (2007) nevner tre hovedårsaker til dette: (1) mangel på forståelse når det kommer til viktigheten av godstransport; (2) mangel på relevante datakilder til å støtte opp om en atferdsmessig forståelse og modellering av godstransporten; og (3) den iboende kompleksiteten når det gjelder godsbevegelser inn til, ut av og innenfor et urbant område.

3.4.3 Overførbarhet av modeller til andre geografiske områder

Som tidligere nevnt er en av utfordringene for bruk av godstransportmodeller, spesielt for godstransport i by, at modellene har et begrenset potensiale for å overføres til andre geografiske områder. Dette skyldes spesielt to forhold: For det første skal (urbane) godsmodeller være representative for godstransporten som finner sted i praksis. Byer og regioner varierer imidlertid mye, noe som gjør at mange planleggingskonsepter ikke enkelt lar seg overføre mellom byer (McLeod og Curtis, 2020). Dette impliserer også at representativ modellering vil kreve mye tids- og ressurskrevende arbeid for lokale tilpasninger. For det andre begrenser modellenes spesifikke databehov og byers og regioners spesifikke datatilgjengelighet, hvorvidt modeller kan brukes også for andre områder (Kaszubowski, 2019b; Ter Laag, 2019).

Basert på en gjennomgang av 22 urban-regionale transportmodeller konkluderer Ter Laag (2019) at de fleste eksisterende modeller ikke er egnet for testing av policy og samtidig kan overføres til andre geografiske områder. Ifølge forfatteren gjelder dette i praksis kun FRETURB-modellen og en modell for Calgary som ble overført til Toronto, men hvor dette skal ha vært ganske utfordrende.

Ter Laag peker på at den største utfordringen for å overføre de analyserte modellene til andre geografiske områder, er modellenes databehov. Inputdataene, spesielt på detaljeringsnivået som de fleste eksisterende urbane godsmodeller bygger på, er vanligvis ikke tilgjengelig for andre områder enn modellene er utviklet for. I den forbindelse påpeker Ter Laag også at tilgang til detaljerte data er relativt unikt i Nederland (hvor hun selv utvikler en modell) sammenliknet med mange andre land. Også Kaszubowski (2019b) konkluderer at det kun finnes noen få omfattende tilnærminger til detaljert datainnsamling, herunder den franske undersøkelsen gjort for FRETURB-modellen og noen tilsvarende undersøkelser i England, Roma, og en 8-års undersøkelse i Tyskland. Riktignok har det vært en del arbeid med innsamling av disaggregerte data også gjennom flere varestrømsundersøkelser i metropolregioner, med sikte på å bruke disse som inputdata for urbane godsmodeller (Sakai m.fl., 2018). Kaszubowski (2019b) anfører imidlertid at resultater fra slike undersøkelser er tilpasset lokal kontekst og ikke uten videre kan brukes til å si noe om situasjonen i andre land. Sakai m.fl. (2018) anfører av liknende grunner at arbeid med urban godsmodellering som utnytter potensialet til slike data er et viktig forskningsområde framover.

Med bakgrunn i litteraturgjennomgangen, hvor Ter Laag (2019) identifiserte manglende overførbarhetspotensiale for de fleste eksisterende urbane godsmodeller, setter forfatteren i gang et forsøk på å utvikle en modell som er mer overførbar mellom byer/byområder. Ter Laag illustrerer utviklingen av denne modellen for storbyområdet rundt Rotterdam (Nederland) og karakteriserer den som en «varebasert justert firestegsmodell». Modellen beskrives videre som empirisk og består av godsgenerering, godsdistribuering (OD-matrise med generaliserte transportkostnader og godsspesifikke sensitivitetsparametere) og en

turgenereringsmodell, hvor det gjennom en iterativ prosedyre etableres forsendelser som deretter tildeles kjøretøytyper. Deretter tilordnes forsendelsene til turer.

For å tilrettelegge for overførbarehet av modellen til andre geografiske områder bygger Ter Laag (2019) opp modellen rundt underliggende data som ifølge forfatteren er tilgjengelig for de fleste byområder i Europa. Figur 3.4 gir en oversikt over datakilder brukt til Ter Laags modell, samt eventuelle alternativer.

Organisation	Data source name	Data
CBS	Wijk- en buurtkaart 2017	Socio-economic data
CBS	XML-data freight transport survey	Detailed freight patterns
ITF/OECD	Services in urban areas	Grid of 1 x 1km with the number of commercial services
ITF/OECD	ITF regional freight model	Freight volumes entering and exiting the urban region
ITF/OECD	OECD population and GDP	Data on population and GDP
EU	CORINE Land Cover (CLC)	Spatial land use characteristics
EU	European Road Freight Transport survey	Regional freight statistics

Figur 3.4. Oversikt over datakilder brukt til en nytvirket urban godsmodell for storbyområdet rundt Rotterdam (Nederland), samt eventuelle alternativer. Kilde: Ter Laag (2019, s.35).

De første to datakildene i figuren kommer fra Statistikkbyrået i Nederland (CBS) og består av offentlig tilgjengelig sosioøkonomiske data (på nabolagsnivå) og et ikke-offentlig tilgjengelig datasett som består av XML-data fra en vegtransportundersøkelse i Nederland og som består av over 2,5 millioner forsendelser, med informasjon om kjøretøytype og sendingsvekt. Ter Laag bruker disse mikrodataene for estimering i godsgenereringsfasen og for å estimere sensitivitetsparametere i modellens distribueringsfase. Når tilsvarende mikrodata ikke er tilgjengelig for andre områder, kan «ERTF-data» som diskuteres nedenfor, ifølge forfatteren være et alternativ. I den forbindelse foreslår Ter Laag, basert på en gjennomgang av eksisterende modeller og rammeverk til f.eks. ITF, å skille mellom ti godstyper for godstransport i by. Dette er 1) Termovarer; 2) Andre matvarer; 3) Bearbejdede varer; 4) Anleggs- og byggevarer; 5) Råvarer; 6) Papir og trevarer; 7) Kjemikalier; 8) Avfall; 9) Transportutstyr og 10) Pakker.

I tillegg kommer tre datakilder fra ITF/OECD. Den første omtales som «grid data» om antall og type kommersielle tjenester pr sone på 1x1 km og som er tilgjengelig for alle byområder i Europa. Eksempler er antall (dagligvare)butikker og andre tjenester pr sone. Ter Laag anfører at dataene også kan brukes som grunnlag for geografiske soner i modellen. Den andre ITF-/OECD-kilden består av output fra ITF sin regionale godsmodell og som kan brukes til å kalibrere godsstrømmer som estimeres med den urbane modellen. Den tredje kilden består av noe mer aggregerte data om befolkning og inntekt som kan konverteres til soner.

Av EU-data brukes to offentlig tilgjengelige kilder. Den første gir geografisk detaljerte data om arealbruk for alle områder. Den andre kilden består av ERTF-data fra Eurostat (eller European Road Freight Transport-data) og brukes ifølge forfatteren som prediksjonsgrunnlag og hvor generering av turer er basert på empirisk og offentlig tilgjengelig statistikk. ERTF-dataene er tilsvarende lastebilundersøkelsen i Norge og er på NUTS3-nivå. Det kan bemerkes at selv om disse data er tilgjengelige for det meste av Europa, tilsvarer geografisk detaljeringsgrad fylkesnivå i Norge. Inndelingen er mer detaljert i andre land (f.eks. Tyskland), men ved å bruke ERTF-dataene vil det geografiske detaljnivået ikke overstige en sone pr kommune og ofte være mindre detaljert enn dette.

Ettersom databehovet til modellen i stor grad er lokasjonsuavhengig, mener Ter Laag (2019) at den er et første steg mot utvikling av en europeisk modell for urban godstransport. Den eneste lokasjonsavhengige inputen til modellen av parameterne til godsgenereringsfasen og sensitivitetsparametere brukt til godsdistribusjon. Disse må enten

re-estimeres for andre regioner og land eller endres basert på aggregerte korreksjonsfaktorer. Samtidig vedgår Ter Laag at re-estimering av parametere fortsatt er utfordrende på grunn av mangel på nyttige data for andre byer, og at dette dessuten vil være tidkrevende arbeid.

3.5 Oppsummering

Eksisterende urbane godsmodeller har ulike tilnærminger og kan klassifiseres på ulike måter. Eksempler inkluderer modellens planleggingshorisont, formål, modellenhet, modelloppbygging og detaljnivå. Ettersom det i brorparten av modellene uansett er behov for å beregne godsetterspørsel i byområder, handler det meste av den eksisterende litteraturen om etterspørselstimeringsmodeller. Også for disse finnes ulike tilnærminger og klassifiseringer, men det er en egenskap de fleste etterspørselsmodeller for urban godstransport har til felles: De trenger en genereringsfase som definerer varestrømmer og varestrømmenes egenskaper. Denne fasen estimerer strømmer, enten hos avsender, hos mottaker eller begge deler. Tilnærmingen i de øvrige modelleringsfaser i etterspørselsmodeller varierer, men er i hovedsak knyttet til segmentering og geografisk fordeling av genererte varestrømmer.

En mye brukt klassifisering for urbane godsmodeller skiller mellom varestrømbaserte, kjøretøysbaserte og leveringsbaserte etterspørselsmodeller: **Varestrømbaserte modeller** er som oftest basert på aggregerte data og tar utgangspunkt i mengden varer som skal fraktes. Gruppen med **kjøretøybaserte modeller** er basert på standard 4-stegs tilnærminger og har som hovedmål å estimere antall turer med tunge godskjøretøy. **Leveringsbaserte etterspørselsmodeller** bruker laste- og losseaktiviteter som observasjonsenhet, dvs de aktivitetene som forbinder aktørene som genererer og de som utfører transport. I tillegg til ovennevnte modellgrupper finnes en nyere «agentbasert mikrosimuleringsmodell» med potensielt interessante anvendelsesområder i fremtiden.

4 Databehov og datatilgjengelighet

4.1 Datatilgjengelighet og aggregeringsnivå

Litteraturgjennomgangen viser at for godsmodeller har databehov og datatilgjengelighet gjennomgående vært en utfordring, selv om det er en positiv utvikling. Modellspesifisering henger også sammen med datatilgjengelighet: På den ene siden påvirkes modellens logikk av hva som modelleres, som igjen avhenger av hvilke data som er tilgjengelig. På den andre siden kan modellens databehov, f.eks. gjennom innspill til statistikkbyråer, påvirke hvilke data som samles inn. I de senere år har det i økende grad blitt mulig å samle ulike former for trafikkdata, som potensielt kan brukes i simulering, modellering og planlegging av transportsystemer (Nuzzolo m.fl., 2020). Kumar m.fl. (2019) peker på at nye informasjonsteknologier potensielt kan bidra til mer integrerte og dynamiske løsninger for bylogistikk. Intelligente transportsystemer (ITS), Internet of Things (IoT), «big data», Artificial intelligence (AI), sensornettverk og etterspørselsmodeller kan bidra til bedre forståelse og framskrivninger av godstransport.

For fremtidens godstransportmodeller er utfordringen todelt: På den ene siden må en finne relevante og pålitelige datakilder og på den annen side egnede transportmodeller (Meersman og van de Voorde, 2019). Hva som er egnede transportmodeller avhenger av hvem som er brukeren av modellen og hva som er brukerens behov. Hvilke policyanalyser er det tenkt at modellen skal løse og hva bør være resultatene fra en modellberegning? Dette er punkter som Kaszubowski (2019b) påpeker at lokale myndigheter ofte ikke har en klar tilnærming til fordi de er mest engasjert i det som skjer her og nå, og bruker derfor ad-hoc løsninger til å takle problemene når de oppstår uten noen forhåndsvurdering støttet av en simuleringsmodell.

En annen faktor er aggregeringsnivået til dataene som trenges for spesifisering, kalibrering og anvendelse. Aggregerte modeller er gjerne basert på modellvariabler som omfatter f.eks. alle bedrifter innen en viss kategori/ sektor, mens disaggregerte modeller er basert på f.eks. enkeltbedrifter eller enkeltsendinger. Data kan aggregeres på ulike måter, men ofte blir en tvunget til å bruke aggregerte modeller på grunn av datatilgjengelighet (Comi, 2020). Ved en aggregert tilnærming kan det geografiske analyseområdet deles opp i trafikksoner og start eller stoppesteder i hver sone kan tilnærmes gjennom ett punkt (sentroide). Etterspørselen blir da karakterisert gjennom PC- eller OD-matriser.

Mange aggregerte modeller som foreslås for analyse av godsstrømmer i urbane områder er flerstegsmodeller og kan klassifiseres etter referansehetene: kvantitet, leveranse, tur og kjøretøy (Comi, 2020).

4.2 Nye kilder til data

Selv om forsøk på å utnytte «big data» så langt har vært relativt begrenset, er økende datafangst fra nye kilder (og dermed potensiell tilgjengelighet for transportmodeller) temaer som diskuteres mye når det gjelder forbedring og fremtidsretting av transportmodeller. Samtidig påpekes det at slike data gjerne må anses som supplement til annen, eksisterende input, som for eksempel fra lastebilundersøkelser (de Jong m.fl., 2016).

Ifølge Kumar m.fl. (2019) er det mulig å samle presise data på bevegelser til både godskjøretøy og selve godset, men for å utnytte potensialet til «big data» må dataene, som vanligvis eies av private bedrifter, integreres med offentlig-eide trafikk- og infrastrukturdata. Når det gjelder «big data» påpekes det at potensialet gjerne ligger i mikrodata/data på detaljert nivå (de Jong m.fl., 2016; Meersman og van de Voorde, 2019). Eksempler på datakilder som framheves er GPS- og containerdata, RFID-data, data samlet inn gjennom mobiltelefoner, mm. (Ben-Akiva m.fl., 2016; de Jong m.fl., 2016; Meersman og van de Voorde, 2019). Håpet er at slike data vil kunne bidra til at relasjoner mellom ulike variabler i større grad utforskes basert på korrelasjoner og «data mining», og med dette beriker dagens modeller, der grunnlaget er basert på hvordan antatte relasjoner er programmert og forenklet (de Jong m.fl., 2016). Kilder til «big data», som f.eks. RFID-sporing, vil videre kunne bidra til mer og bedre sporing (f.eks. om godsets opprinnelse er «produksjonssted», eller om relasjonen starter etter omlasting og godset er del av det omlastede godset, som eksempelvis gjelder for gods fra engroshandelslagre) (de Jong m.fl., 2016). Utfordringen er at RFID fortsatt er en kostbar teknologi og derfor bare brukes på varer av høy verdi, evt. for hele lastbærere. Nyere datakilder kan også bidra med informasjon om strukturen til leveransekjeder (f.eks. transport via mellomlagre, konsolideringssentre, videreprosessering osv.). I dag er slike data sjelden tilgjengelig, eller må samles inn gjennom dyre og ofte upresise undersøkelser (Ben-Akiva m.fl., 2016). Det må imidlertid bemerkes at data-eksemplene som nevnes mest i litteraturen, i hovedsak er data uten informasjon om gods/varetype.⁵

Litteraturen peker imidlertid også på en rekke utfordringer rundt nye datakilder. Bruk av slike data innebærer gjerne at data må leveres fra privat sektor (de Jong m.fl., 2016), og detaljerte bedriftssensitive data kan være vanskelig tilgjengelig (Meersman og van de Voorde, 2019). I den sammenheng kan det bemerkes at interessene til transportaktørene og brukere som ønsker å få overlevert data (f.eks. transportmyndigheter og forskere) ikke nødvendigvis samsvarer. Videre forblir et viktig spørsmål hvordan «big data» vil kunne nyttiggjøres i større skala: Data vil for eksempel ha ulike kilder, formater, styrker, svakheter og egnethet (Meersman m.fl., 2016).

I forskningsprosjektet [LIMCO](#) samles det for tiden inn data fra 1800 lastebiler, både GPS-data og føreradferds- og motorytelsesdata. Dette er data som antakelig kan utnyttes for modellering, enten det gjelder bedre modeller for byområder eller vegvalgproblematikk.

4.3 Databehov til en urban godstransportmodell

Det er et generelt problem internasjonalt at det er lite tilgjengelig data om godstrafikk i byområder. Otte m.fl. (2020) gir en oversikt over hvor informasjon og data om hhv forsendelse, kjøretøy og transportnettverk kan hentes fra (hhv sender, transportoperatør og offentlig og privat tilgjengelig data på transportnettverket). Ifølge forfatterne er en faktor til at urban godstransport ofte skjer suboptimalt, at forskjellige transportoperatører opererer uavhengig av hverandre og holder sine data internt. Svært få land har pågående undersøkelser om godsaktiviteter i byområder (Browne, 2019).

Eksempler på data som kan samles og brukes i modeller er ifølge Browne (2019):

- Kjøretøyers leverings- og innsamlingsturer for virksomheter i byområder
- Varestrømmer til og fra virksomheter

⁵ Muligens med unntak av RFID, men RFID er mest relevant for varer med relativt høy verdi, og ikke bulkvarer.

- Service- og håndverksturer til og fra virksomheter
- Turdetaljer og trafikkmønstre for vare- og servicekjøretøy
- Laste- og losseaktiviteter for nyttekjøretøy
- Opprinnelsessted for varestrømmer/kjøretøyenes turer til virksomheter

I hvilken grad man har tilgang på denne type informasjon vil være førende for hvordan man bygger opp en modell, jfr kartleggingen i kapittel 3.

Hva som skal være innholdet i en godstransportmodell for et byområde vil avhenge av hvilke problemstillinger modellen skal besvare og hvilke ressurser en ønsker å satse på en slik modell. En transportmodell for et byområde forventes å skulle besvare mer detaljerte problemstillinger enn dagens nasjonale godsmodell (NGM). Dette vil stille krav til et mer geografisk detaljert nivå enn i NGM, noe som igjen vil stille krav til mer detaljert soneinndeling, transportnett og kostnadsfunksjoner enn i NGM.

Spørsmål er imidlertid hva man ønsker av nye problemstillinger som en regional godsmodell skal besvare, sammenliknet med NGM. En mer detaljert geografisk inndeling vil gi en bedre fordeling av transport i hovedvegnettet enn med NGM. NGM er imidlertid en modell som tar utgangspunkt i *årlige* varestrømmer mellom par av bedrifter. I et byområde vil det være andre utfordringer, ikke minst vil det være problemstillinger knyttet til tidspunkt på døgnet for når en *leveranse vil finne sted*, fordi det er faktorer som påvirker når en *leveranse kan finne sted*:

- Kø og forsinkelser, særlig knyttet til morgen- og ettermiddagsrushet påvirker tidsbruk og med det kostnader
- Leveranser finner gjerne sted enten i forkant av at en butikk åpner eller innenfor avtalte tidsvinduer for levering
- Gågater som er åpne for varelevering i et begrenset tidsrom på døgnet
- Det kan noen steder være (aktuelt å innføre) støysoner som begrenser leveringer om natten, eventuelt at leveringer (eller søppelinnhenting) bare kan foregå med støysvake (f.eks. elektriske) kjøretøy

Dette tilsier at en godsmodell for et byområde bør inkludere funksjonaliteter som ivaretar *tidspunkt* på døgnet transporten utføres. Dette kan inkluderes som matriser som f.eks. er differensiert til *innenfor og utenfor rushtid*, slik man skiller i persontransportmodellene. I VTU-2014 ble det innhentet informasjon om tidspunkt for når et transportoppdrag påbegynnes, men ikke for når varen faktisk leveres. Dessuten er ikke informasjonen dekkende for majoriteten av forsendelser.

NGM fanger heller ikke opp alle kjøretøysegmenter, som kanskje bør inkluderes i en bymodell. Dette gjelder først og fremst *leveranser fra service- og tjenestenæringene*. I den grad dette er inkludert i dagens undersøkelser, gjelder det SSBs undersøkelse små godsbiler. Det er også mindre relevant med vogntog (lastebil med tilhenger) som flere av kostnadsfunksjonene i NGM inkluderer.

Faktorer som påvirker transportmengde, sendingsstørrelse og sendingsfrekvens, er:

- Den underliggende etterspørsel etter varer (total varemengde pr tidsenhet)
- Type virksomhet (industri, engros, detalj, tjenestenæring, husholdninger)
- Varesortiment (påvirker antall leverandører)
- Krav til leveringstidspunkt
- Beliggenhet (grad av sentralitet påvirker kostnaden ved å ha lager, og med det sendingsstørrelse og sendingsfrekvens)

Faktorer som påvirker antall kjøretøy, transportkostnader, energibehov og utslipp av klimagasser er:

- Sendingsstørrelse og -frekvens
- Konsolidering og fyllingsgrad i kjøretøyene
- Antall stopp underveis i en distribusjonsrunde
- Kjøretøystørrelse og energibehov
- Fremdriftsteknologi og drivstoff for kjøretøyene
- Infrastrukturavgifter (f.eks. bompenger, rushtidsavgifter, parkeringsavgifter mm.)

Alderssammensetningen til bilflåten påvirker i tillegg lokal luftkvalitet. Selv om utskiftingstakten for lastebiler i stor grad er høy er det mange kjøretøy som kjører relativt korte distanser ved bydistribusjon og derfor betjenes av eldre kjøretøy.

Tabell 4.1 oppsummerer dette databehovet og mulige kilder til informasjon.

Det framkommer av tabellen at mye informasjon er tilgjengelig, men at den til dels er fragmentert. Den største utfordringen er kanskje knyttet til transportetterspørselen, da eksisterende data om varestrømmer, SSBs varetransportundersøkelse, er fra 2014. Det vil derfor være et sentralt element i pågående prosjekt å teste ut datakvaliteten også i lastebilundersøkelsen på et detaljert nivå.

Også pågående og fremtidige trender vil potensielt kunne øke datatilgjengeligheten, dette være seg gjennom samarbeid mellom transportnæringen, myndigheter og forskere. En må kanskje også tenke nytt når det gjelder etablering (oppdatering) av varestrømsmatriser ved å kombinere data om økonomisk aktivitet med innsamlet informasjon om leveransemønster fra varetransportundersøkelsen.

Tabell 4.1 Databehov for en urban godsmoell og mulige kilder til informasjon.

	Datakilde	Detaljeringsnivå	Behov for mer informasjon
Varestrømmer	Varestrømsmatrisene som er utviklet til NGM, men på et mer detaljert sonenivå enn i NGM Alternativt grunnlagsdata fra VTU-2014, evt. supplert med data fra SSBs lastebilundersøkelse	Delområdesoner (60 soner i Oslo) Postnummersoner	Grov soneinndeling i godstunge områder som Groruddalen All transport med små godsbiler mangler i LBU, men er inkludert i VTU-2014, men data begynner å bli gamle
Vegnettverk	Nasjonal person-transportmodell (NTM6)	Delområdesoner (60 soner i Oslo)	
Havner	AIS-anløpsdatabase	Koordinat	
Jernbaneterminaler	Jernbanedirektoratet	Koordinat	
Samlastterminaler	Informasjon innhentet til Bred godsanalyse	Koordinat	Må oppdateres
Postdistribusjonsterminaler	Posten/Bring	Koordinat	
Pakkeutleveringssteder	Posten/Bring, PostNord, mm.	Adresse/postnummer	
Distribusjonsterminaler i by	DHL, Schenker, Bring, PostNord	Koordinat/adresse	
Kostnadsfunksjoner	NGM	Kjøretøy	Kostnadsfunksjoner for varebiler og lastesykler, samt ulike fremdriftsteknologier.
Optimeringsrutiner	NGM		
Tidsdifferensierte varestrømmer:			
Forordningsfunksjoner for tidspunkt på døgnet varene sendes	VTU-2014	Postnummer/delområdesone	Dataene er mangelfulle og begynner å bli gamle
Timesfordelte vegtrafikktellinger	Trafikkdata fra Statens vegvesen	Vegsnitt	
Volume-delay-funksjoner	Volume-delay-funksjoner fra RTM		Total trafikkbelastning pr vegstrekning og time
Tidsvinduer for leveranser i gågater	Innhentet i NorSulp		
Åpningstider i butikker	Innhentet i NorSulp		
Faktorer som påvirker transportmengde, sendingsstørrelse og sendingsfrekvens:			
Varesortiment	VTU-2014		Antall leverandører pr delområdesone
Type virksomhet (industri, engroshandel, detalj, tjenestenæring)	Virksomhets- og foretaksregisteret	Grunnkrets	Kan transformeres til koordinat basert på matrikkelen
Husholdninger	Befolkningsdata (SSB/RTM)	Grunnkrets	
Faktorer som påvirker antall kjøretøy, transportkostnader, energibehov og utslipp av klimagasser:			
Sendingsstørrelse			
Krav til leveringstidspunkt			
Konsolidering og fyllingsgrad i kjøretøy			
Antall stopp i en distribusjonsrunde	SSBs undersøkelser små godsbiler og lastebiler		
Kjøretøystørrelse			
Fremdriftsteknologi			Autosys
Energibehov for kjøretøyet	Sintefs farts- og energimodul		Autosys
Faktorer som i tillegg påvirker lokal luftkvalitet:			
Alderssammensetning til kjøretøyparken	SSBs undersøkelser små godsbiler og lastebiler		Autosys

5 Diskusjon og konklusjoner

5.1 Modellstruktur i Nasjonal godsmodell

Nasjonal godsmodell er i grove trekk basert på den såkalte 4-stegsmetoden, men der trinn 1 (godsgenerering) og trinn 2 (distribusjon av varer) er ivaretatt i varestrømsmatrisene. Soneinndelingen er i hovedsak på kommunenivå, der de seks største byene i Norge (Oslo, Kristiansand, Stavanger, Bergen, Trondheim og Tromsø) er representert med fra fire til tolv soner. Varestrømmene representerer årlige leveranser mellom sonepar. Til analyser på bynivå er derfor inndelingen alt for aggregert. Modellens nettverksmodell er tilpasset soneinndelingen og er en forenklet versjon av vegnettverket i persontransportmodellene, mens nettverkene for sjø- og jernbanetransport er spesifikke for godsmodellen. Alle nettverkene er koblet sammen via omlastingsterminaler for sjø- og jernbanetransport. Også kostnadsmodellene i NGM er mer tilrettelagt for regional- og langtransport enn for bydistribusjon. Det er overvekt av større lastebiler og vogntog i tillegg til kostnadsmodeller for sjø- og jernbanetransport, og modellen mangler (foreløpig) kostnadsfunksjoner for alternative fremdriftsteknologier.

5.2 Behov for mer detaljerte modeller

Pågående samfunnstrender, og særlig teknologisk utvikling, har potensiale til å endre fremtidens godstransport betydelig, sammenliknet med hvordan transportsystemer fungerer i dag. Dette har implikasjoner for godstransportmodeller, gjennom bl.a. endringer i kostnader, transportmidler, valgmuligheter og varestrømmer.

Bylogistikk er preget av stor heterogenitet både når det gjelder aktører og godstyper, og har derfor høy grad av kompleksitet og endring (spesielt med tanke på leveringsmønster, laste- og losseprosesser, arealbruk, variasjon mellom soner og identifisering av innsatsvarer, mellomleveranser og sluttleveranser for produkter), noe som gjør det vanskeligere å modellere detaljerte logistikkprosesser i byer samtidig som brukerterskelen ikke blir for høy. En mulig utviklingsretning for å modellere den urbane godstransporten bedre kan være å utvide dagens nasjonale godsmodell med mer detaljert soneinndeling i byområdene og å inkludere flere transportmiddelvalg med tilhørende kostnadsfunksjoner. Et alternativt er å lage delmodeller som er kompatible med NGM slik at en får en kobling mellom langtransport, regional distribusjon og ivaretagelse av last mile og leveranser i sentrumsområdene.

Koblinger mellom nasjonale/regionale godsmodeller og bylogistikkmodeller, samt mot persontransportmodeller, har vært gjenstand for diskusjon i flere artikler, men foreløpig er det gjort lite konkret arbeid på dette området. Nasjonalt er det nettopp startet et prosjekt med å teste ut en slik funksjonalitet ved å nettutlegge varestrømmer for godstransport i RTM-systemet, noe som bl.a. krever en konvertering fra årlige godsstrømmer til antall kjøretøy i og utenfor rushtid.

5.3 Hvilke bærekraftsmål kan urbane transportmodeller belyse

Som nevnt innledningsvis er minst 10 av FNs 17 bærekraftsmål relevante for godstransport, på en eller annen måte. Vi vil i dette avsnittet forsøke å relatere disse 10 bærekraftsmålene til hvilke elementer en transportmodell må ha for å anvendes til analyser av hvordan målene kan nås gjennom ulike virkemiddelbruk.

Bærekraftsmål 3 (God helse) med delmål om å redusere antall dødsfall og skader forårsaket av trafikkulykker og luftforurensning. Målet vil påvirkes av hvor mye det kjøres, hvor det kjøres, hvilke kjøretøy som benyttes hvor og hvor god tilrettelegging det er i samspillet med andre trafikantgrupper.

Bærekraftsmål 7 (Ren energi til alle) går ut på å sikre tilgang til pålitelige og moderne energitjenester, å øke andelen fornybar energi i energiforbruket og å få raskere forbedringer i energieffektivitet. Faktorer som påvirker måloppnåelsen er først og fremst innfasing av nullutslippsløsninger innenfor transport, men fordi nullutslippsløsninger bare er tilgjengelig i begrenset grad på kort sikt og det vil ta tid å innfase slike løsninger, vil virkemidler på kort sikt også inkludere utnyttelsesgrad til kjøretøyene, hvor mye last som fraktes pr kjøretøy, overgang til energieffektive transportformer og karboninnholdet i drivstoffet.

Bærekraftsmål 8 (Anstendig arbeid og økonomisk vekst) kombinerer delmål om å opprettholde økonomisk vekst og å øke produktivitet gjennom bl.a. teknologisk fremgang og innovasjon og bedre utnyttelse av ressurser, ved å fremme anstendig arbeid og gode arbeidsforhold. Målet er også et basalt fundament i godstransport fordi det er førende for selve transportomfanget ettersom transportbehovet påvirkes av den økonomiske aktiviteten. At det også ivaretar anstendig arbeid, er særlig relevant for både for godstransport og logistikkoperasjoner med små driftsmarginer, utflagging av transport og bruk av arbeidskraft fra lavkostnadsland. Dette påvirker transport- og logistikkostnadene.

Mål 9 (Industri, innovasjon og infrastruktur) går bl.a. ut på utvikling av bærekraftig infrastruktur av høy kvalitet, herunder på regionalt nivå, samt mer (og mer effektiv) bruk av ressurser, rene og miljøvennlige teknologiformer og prosesser, samtidig som bærekraftig næringsutvikling skal fremmes. Bærekraftig infrastruktur av høy kvalitet er først og fremst relevant for å sikre gode forbindelseslinjer mellom byene og å øke tilgjengeligheten til distriktene, mens det i byene er viktig med effektiv transportavvikling med minst mulig ulempe for innbyggerne. Her spiller arealplanlegging og tilrettelegging for effektiv godshåndtering inn, for eksempel gjennom etablering av infrastruktur for lasting og lossing av varer. Innfasing av ny kjøretøyteknologi vil fremme innovasjon av rene og miljøvennlige teknologiformer.

Bærekraftsmål 11 (Bærekraftige byer og lokalsamfunn) er rettet spesifikt mot byer, og har en rekke delmål knyttet til bærekraftig og integrert urbanisering, samfunnsplanlegging og forvaltning, med bærekraftige transportsystemer og styrking av regionale planer. I et godstransportperspektiv er arealplanlegging viktig som virkemiddel på lang sikt for å tilrettelegge for effektiv varetransport. Dette gjøres gjennom overordnede planer for lokasjon av godsgenererende aktiviteter og arealkrevende næringsbygg, samt tilrettelegging for varelevering i sentrumsområder slik at varer kan leveres til butikker og kontorbygg til minst mulig ulempe for de som bruker byen. Videre skal byenes og lokalsamfunnets negative påvirkning på miljøet reduseres med særlig vekt på bl.a. luftkvalitet (jfr. mål 3). Dette henger også sammen med bærekraftsmålene 14 og 15 om å redusere negative effekter av menneskers adferd på livet hhv i havet og på land. I tillegg til innfasing av null- og lavutslippsteknologi for fartøy og kjøretøy, vil dette også berøre terminaloperasjoner (utslippsfrie terminaler), robotisering og automatisering av slike prosesser.

Gjennom bærekraftsmål 12 (Ansvarlig forbruk og produksjon) skal klimaavtrykket fra innbyggernes forbruk reduseres og hvor etterspørsel etter og transport av varer spiller en viktig rolle. Bærekraftig produksjon og forbruk handler om å gjøre mer med mindre ressurser. Dette inkluderer sirkulærøkonomi, samt effektiv og bærekraftig forvaltning av naturressurser. Redusert matsvinn er et annet prioritert område. I godsmodellens sammenheng innebærer det et analysebehov der også avfall og gjenvinning integreres i et verdikjedeperspektiv, der avfall omgjøres til ressurser. Tiltak som øker utnyttelsesgraden på kjøretøyene vil også støtte opp om dette bærekraftsmålet.

Gjennom mål 13 (Stoppe klimaendringene) legges det opp til at handling for å bekjempe klimaendring og klimaendringens konsekvenser skal settes i gang umiddelbart, der den viktigste handlingen for godstransporten er å redusere omfanget av klimagassutslipp raskest mulig. For godstransport kan dette gjøres enten ved 1) å redusere forbruket av varer (henger sammen med mål 12), 2) transportere varer på en mindre utslippintensiv måte, f.eks. ved å øke kapasitetsutnyttelsen, 3) skifte til transportmidler som er mer energieffektive, 4) bytte til drivstoff med lavere karboninnhold enn dagens diesel og 5) overgang til nullutslippsløsninger i transport.

Bærekraftsmål 17 (Samarbeid for å nå målene) har avslutningsvis delmål som går ut på å oppnå mer helhetlig politikk for bærekraftig utvikling, å stimulere til og fremme partnerskap i og mellom det offentlige, private og sivile samfunnet, herunder utvikling mht utnyttelse av data. Eksempler på samarbeidsløsninger for å nå målene er å utvikle konsoliderte distribusjonsløsninger der kjøretøykapasiteten utnyttes mer optimalt. Også for å utvikle nye distribusjonsløsninger kreves det gjerne samarbeid mellom avsender og mottaker og kanskje også kommune. Innfasing av nullutslippsteknologi kan også medføre mer rigide løsninger (f.eks. redusert lastkapasitet og rekkevidde) og økte kostnader. Det må derfor også utvikles forretningsmodeller og samarbeidsløsninger for at transportører skal påta seg risikoen ved å investere i slikt materiell. Og det mest essensielle for overordnet planlegging er at det samarbeides mellom offentlige og private aktører for datautveksling. Gjennom dette kan blant annet godstransportmodellene utvikles på en måte som gjør offentlig politikk mest mulig målrettet og virkningsfull. Hvordan dette skal realiseres vil igjen avhenge av ressurser. Sentral innsamling og forvaltning vil være mest effektivt ut fra et kostnadsperspektiv, men for at bedriftene skal være villige til å dele data må data behandles fortrolig, noe som vil være en avgrensning i forhold til hvem som har tilgang til disse. Litteraturstudien peker nettopp på at manglende data om godstransport i byer er en hovedårsak til at godstransportmodellene har hengt etter i utviklingen sammenlignet med persontransportmodellene, og at dette igjen kan ha vært en medvirkende årsak til at godstransport har vært en nedprioritert del av den urbane politikken.

Tabell 5.1 oppsummerer hvert av bærekraftsmålene, modellelementer som er nødvendig for virkemiddelanalyse og måloppnåelse, virkemidler og planleggingshorisont.

Tabell 5.1. Oppsummering av FNs bærekraftsmål, modellelementer, virkemidler og planleggingshorisont.

	God helse	Ren energi til alle	Anstendig arbeid og økonomisk vekst	Industri, innovasjon og infrastruktur	Bærekraftige byer og lokalsamfunn	Ansvarlig forbruk og produksjon	Stoppe klimaendringene	Redusere negative effekter av menneskers adferd på livet i havet	Redusere negative effekter av menneskers adferd på livet på land	Samarbeid for å nå målene	Avgifter	Subsidier	Reguleringer	Arealbruk	Kort	Mellomlang	Lang
Relevante bærekraftsmål → ↓ Modellelementer	3	7	8	9	11	12	13	14	15	17	Virkemidler				Planleggingshorisont		
Godsgenerering:																	
Økonomisk aktivitet			X	X	X	X	X	X	X								
Industrilokasjoner				X	X	X	X			X			X	X			X
Terminallokasjoner				X	X	X	X			X			X	X			X
Konsolideringsterminaler										X			X	X		X	
Hvor fraktes godset til?																	
Næringslokasjoner	X				X					X			X	X			X
Bosettingslokasjoner	X				X					X			X	X			X
Transportmiddelvalg:																	
Transport- og logistikkostnader			X	(X)	X					X	X	X	(X)		X	X	X
Sendingsstørrelse					X	(X)				X	X				X		
Leveringsfrekvens					X	(X)	X			X	X				X		
Laste- og losseprosesser					X			X	X	X			X	X		X	
Kjøretøystørrelse				(X)	X		X	X	X	X	X		X		X	X	
Kjøretøyteknologi	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X		(X)	X	X
Nye distribusjonsløsninger		X		X	X			X	X	X	X	X	(X)	(X)	X	X	X
Automatisering				X	X			X	X	X		X				(X)	X
Rutevalg:																	
Tilgjengelig infrastruktur				X	X			X	X					X			X
Distribusjonsruter					X						X		X		X		
Framkommelighet og kø	X				X						X		X	X		X	X

Referanser

- Abate, M., Vierth, I., Karlsson, R., Jong, G. de, og J. Baak (2019), 'A disaggregate stochastic freight transport model for Sweden', *Transportation*, 46, s.671-696
- Ambrosini, C., Routhier, J.-L., Sonntag, H. og B. Meimbresse (2008), 'Urban Freight Modelling: A Review.' Innovations in city logistics (pp. 197-211). *Nova Science: New York*
- Anand, N., van Duijn, R., Quak, H. og L. Tavasszy (2015), 'Relevance of City Logistics Modelling Efforts: A review', *Transport Reviews*, 35(6), s.701-719
- Ben-Akiva, M., Toledo, T., Santos, J., Cox, N., Zhao, F., Lee, J.L. og V. Marzano (2016), 'Freight data collection using GPS and web-based surveys: Insights from US truck drivers' survey and perspectives for urban freight', *Case Studies on Transport Policy*, 4, s.38-44
- Boerkamps, J.H.K., van Bingsbergen, A.J. og P.H.L. Bovi (2000), 'Modeling Behavioral aspects of urban freight movement in supply chains'. *Transportation Research Record*, 1725, s. 17-25
- Browne, M. (2019). Presentasjon på LIMCO-seminar 11. desember 2019, *Tilgjengelig via:*
<https://www.toi.no/limco-seminar/category1897.html>
- Carrara, S. og T. Longden (2017), 'Freight futures: The potential impact of road freight on climate policy', *Transportation Research Part D*, 55, s.359-372
- Caspersen, E., Johansen, B.G., Hovi, I.B. og G. de Jong (2016), 'Norwegian Logistics Model: Moving from a deterministic framework to a random utility model', *TØI-rapport 1538/2016*
- Chow, J.Y.J., Yang, C.H. og A.C. Regan (2010), 'State-of-the art of freight forecast modeling: lessons learned and the road ahead', *Transportation*, 37, s.1011-1030
- Comi, A., Delle Site, P., Filippi, F. og A. Nuzzolo (2012), 'Urban Freight Transport Demand Modelling: a State of the Art', *European Transport*, 51, paper nr. 7
- Comi, A. (2020), 'A modelling framework to forecast urban goods flows', *Research in Transportation Economics*, 80, s.100827
- Ducret, R. og J. Gonzalez-Feliu (2015), 'Connecting demand estimation and spatial category models for urban freight: First attempt and research implications', *Transportation Research Procedia*, 12, s.142-156
- Ehrler, V.C., Liedtke, G., og A. Wolfermann (2016), 'International freight modelling – From empirical data to modelling freight transport', *Introduksjon i Case Studies on Transport Policy*, 4, s.1-2
- Ekspertutvalget for teknologi og fremtidens transportinfrastruktur (2019), 'Teknologi for bærekraftig bevegelsesfrihet og mobilitet', *Tilgjengelig via:*
https://www.regjeringen.no/contentassets/ccdc68196014468696acac6e5cc4f0e7/rapport-teknologiutvalget_web.pdf
- Gentile, G. og D. Vigo (2006), 'A Demand Model for Freight Movements Based on a Tree Classification of the Economic Activities Applied to City Logistic CityGood'. I: *Presentation in the 2nd roundtable, BESTUFS workshop TFH, Wildau*
- Gomez-Marin, C.G., Serna-Uran, C.A., Arango-Serna, M.D. og A. Comi (2020), 'Microsimulation-Based Collaboration Model for Urban Freight Transport', *IEEE Access*, 8, s.182853
- Gonzalez-Feliu, J. og J.L. Routhier (2012), 'Modeling urban goods movement: How to be oriented with so many approaches?' *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 39, s.89-100
- Gonzalez-Feliu, J., Semet, F. og J.L. Routhier (2014), 'Sustainable Urban Logistics: Concepts, Methods and Information System.', *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*

- Gonzalez-Feliu, J. (2019), 'Logistics and Transport Modeling in Urban Goods Movement'. *IGI Global, Hershey*
- Gonzalez-Feliu, J. og I. Sanchez-Diaz (2019), 'The influence of aggregation level and category construction on estimation quality for freight trip generation models', *Transportation Research Part E*, 121, s.134
- Gonzalez-Feliu, J., Palacios-Agruelo, L og C. Suarez-Nunez (2020), 'Links between freight trip generation rates, accessibility and socio-demographic variables in urban zones', *Archives of Transport*, 53(1), s.7
- Grønland S E (2018). Kostnadsmodeller for transport og logistikk – Basisår 2016. TØI-rapport 1638.
- Guaman, B. og G. Guerrón (2019), 'Analysis of Urban Freight Transport Models at District Metropolitan of Quito', *International Journal of Engineering and Technology*, 67(4), s.64
- Hansen W, Madslie A, Grønland S E, Hovi I B, de Jong G (2017). Vurdering av det nasjonale modellsystemet for godstransport. TØI-rapport 1559/2017.
- Hovi I B (2018). Varestrømmer i Norge – en komponent i Nasjonal godstransportmodell. TØI-rapport 1628.
- Huber, S. (2017), 'Transport chain choice modelling in freight transport demand models', *Open Science Journal*, 2(4)
- Jensen, A.F., Thorhauge, M., Jong, G. de, Rich, J., Dekker, T., Johnson, D., Cabral, M.O, Bates, J. og O.A. Nielsen (2019), 'A disaggregate freight transport chain choice model for Europe', *Transportation Research Part E*, 121, s.43–62
- de Jong, G. de, Vierth, I., Tavasszy, L. og M. Ben-Akiva (2013), 'Recent developments in national and international freight transport models within Europe', *Transportation*, 40, s.347-371
- de Jong, G. de, Kouwenhoven, M. og K. Ruijs (2014), 'A time-period choice model for the strategic Flemish freight model based on stated preference data', *Paper til European Transport Conference 24*
- de Jong, G. de, Tavasszy, L., Bates, J., Grønland, S.E., Huber, S., Kleven, O., Lange, P., Ottemöller, O. og N. Schmorak (2016), 'The issues in modelling freight transport at the national level', *Case Studies on Transport Policy*, 4, s.13-21
- Kaszubowski, D. (2019a), 'Factors influencing the choice of freight transport models by local government', *Transportation Research Procedia*, 39, s.133-142
- Kaszubowski, D. (2019b), 'A Method for the Evaluation of Urban Freight Transport Models as a Tool for Improving the Delivery of Sustainable Urban Transport Policy', *Sustainability*, 11(6), s.1535
- Kumar, A., Calzavara, M., Velaga, N.R., Choudhary, A. og R. Shankar (2019), 'Modelling and analysis of sustainable freight transportation', *International Journal of Production Research*, 57(19), s.6086
- Lange, P. og S. Huber (2015), 'Backcasting in freight transport demand modelling – chances and challenges', *Working Paper, DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (German Aerospace Center). Institute of Transport Research. Berlin*
- McKinnon, A. (2019), 'Freight Transport and Logistics', *Kapittel 12 i Stanley, J. og D.A. Hensher (Eds.), A Research Agenda for Transport Policy*, s.99-108
- McLeod, S. og C. Curtis (2020), 'Understanding and Planning for Freight Movement in Cities: Practices and Challenges', *Planning Practice & Research*, 35(2), s.201
- Madslie A, Steinsland C, Grønland S E (2015). Nasjonal godstransportmodell. En innføring i bruk av modellen. TØI-rapport 1429, Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Meersman, H., Ehrler, V.C., Bruckmann, D., Chen, M., Francke, J., Hill, P., Jackson, C., Klauenberg, J., Kurowski, M., Seidel, S. og I. Vierth (2016), 'Challenges and future research needs towards international freight transport modelling', *Case Studies on Transport Policy*, 4, s.3-8

- Meersman, H. og E. van de Voorde (2019), 'Freight transport models: Ready to support transport policy of the future?', *Transport Policy*, 83, s.97
- Nuzzolo, A., Crialli, U. og Comi, A. (2009), 'A delivery approach modeling for urban freight restocking'. I: *Proceedings of the 12th International Conference on Travel Behavioral Research (LATBR), Jaipur, India*
- Nuzzolo, A., Comi, A. og A. Polimeni (2020), 'Urban Freight Vehicle Flows: an Analysis of Freight Delivery Patterns through Floating Car Data', *Transportation Research Procedia*, 47, s.409
- Ogden, K.W. (1992) 'Urban Goods Movement.', *Ashgate, Hants, England*.
- Otte, T., Fenollar Solvay, A. og T. Meisen (2020), 'The future of urban freight transport: Shifting the cities role from observation to operative steering', *Proceedings of 8th Transport Research Arena TRA 2020, April 27-30, 2020, Helsinki, Finland*
- Ottmøller, O. og H. Friedrich (2016), 'Opportunities of sectoral freight transport demand modelling', *Case Studies on Transport Policy*, 4, s.9-12
- Rekdal J, Hamre T N, Flügel S, Steinsland C, Madslie A, Grue B, Zhang W, Larsen O I (2018) NTM6 – Transportmodeller for reiser lengre enn 70 km. Rapport nr 1414, Møreforskning Molde AS.
- Russo, F. og A. Comi (2020), 'Behavioural simulation of urban goods transport and logistics: the integrated choices of end consumers', *Transportation Research Procedia*, 46, s.165
- Sakai, T., Bhavathrathan, B.K., Alho, A., Hyodo, T. og M. Ben-Akiva (2018), 'Commodity flow estimation for a metropolitan scale freight modeling system: supplier selection considering distribution channel using an error component logit mixture model', *Transportation*, 47 (2020), s.997 (publisert på nett i 2018 men i print 2020)
- Sakai, T., Alho, A., Hyodo, T. og M. Ben-Akiva (2020a), 'Empirical Shipment Size Model for Urban Freight and its Implications', *Transportation Research Record*, 2674(5), s.12
- Sakai, T., Alho, A.R., Bhavathrathan, B.K., Dalla Chiara, G., Gopalakrishnan, R., Jing, P., Hyodo, T., Cheah, L. og M. Ben-Akiva (2020b), 'SimMobility Freight: An agent-based urban freight simulator for evaluating logistics solutions', *Transportation Research Part E*, 141, s.102017
- Stefan, K.J., McMillan, J.D.P. og Hunt, J.D. (2005). 'Urban Commercial Vehicle Movement Model for Calgary, Alberta, Canada'. I: *Transportation Research Record 1921*, s. 1-10
- Tapia, R.J., de Jong, G., Larranaga, A.M. og H.B. Bettella Cybis (2020), 'Application of MDCEV to infrastructure planning in regional freight transport', *Transportation Research Part A*, 133, s.255
- Tavasszy, L. og H. Friedrich (2019), 'Supply chain elements in freight transport modelling', *Editorial i Transportation Research Part E*, 121, s.1-3
- Tavasszy, L., de Bok, M, Alimoradi, Z og J. Rezaei (2020), 'Logistics Decisions in Descriptive Freight Transportation Models: A Review', *Journal of Supply Chain Management Science*, 1(3-4), s.74
- Ter Laag, M.S. (2019), 'Modelling urban freight transport in the context of decarbonizing transport in Europa – A case study of the Groot-Rijnmond urban area with possibilities for model transferability', *Masteroppgave, Delft Technical University, 2019*
- Thorson, E. (2005). 'The Integrative Freight Market Simulation: An application of experimental economics and algorithmic solutions'. *Civil and Environmental Engineering, Troy, NY, Rensselaer Polytechnic Institute. Doktorgradsavhandling*
- Toilier, F., Gardrat, M., Routhier, J.L. og A. Bonnafous (2018), 'Freight transport modelling in urban areas: The French case of the FRETURB model', *Case Studies on Transport Policy*, 6, s.753-764
- Wang, Q. og Holguin-Veras, J. (2008). 'Investigation of Attributes Determining Trip Chaining Behavior in Hybrid Microsimulation Urban Freight Model'. I: *Proceedings of the 87th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington DC*

Transportøkonomisk institutt (TØI) Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning

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 utgir tidsskriftet Samferdsel på internett og driver også forskningsformidling gjennom TØI-rapporter, artikler i vitenskapelige tidsskrifter, samt innlegg og intervjuer i media. TØI-rapportene er gratis tilgjengelige på instituttets hjemmeside www.toi.no.

TØI er partner i CIENS Forskningscenter for miljø og samfunn, lokalisert i Forskningsparken nær Universitetet i Oslo (se www.ciens.no). Instituttet deltar aktivt i internasjonalt forsknings-samarbeid, 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, offentlige beslutningsprosesser, næringslivets transport 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.

Besøks- og postadresse:

Transportøkonomisk institutt
Gaustadalléen 21
NO-0349 Oslo

22 57 38 00
toi@toi.no
www.toi.no