



Transportøkonomisk institutt
Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning

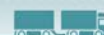
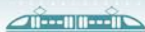


Transporttetter spørsmål ved fremsyn og backcasting

Vurdering av etablerte transportmodeller og andre verktøy

Niels Buus Kristensen, Stefan Flügel, Inger Beate Hovi,
Anne Madslien, Paal B. Wangsness, Wiljar Hansen,
Askill Harkjerr Halse, Christian Steinsland, Bjørn Gjerde Johansen

2051/2024



Tittel:	Transportetterspørsel ved fremsyn og backcasting - Vurdering av etablerte transportmodeller og andre verktøy
Tittel engelsk:	A review of how different models can be used for assessing transport demand with foresight methods and backcasting
Forfatter:	Niels Buus Kristensen, Stefan Flügel, Inger Beate Hovi, Anne Madslien, Paal B. Wangsness, Wiljar Hansen, Askill Harkjerr Halse, Christian Steinsland, Bjørn Gjerde Johansen
Dato:	11.2024
TØI-rapport:	2051/2024
Antall sider:	80
ISSN elektronisk:	2535-5104
ISBN elektronisk:	978-82-480-1204-7
Finansieringskilder:	Statens vegvesen, Nye Veier, Jernbanedirektoratet, Bane NOR, Kystverket og Avinor
TØIs p.nr.:	5521 – Transportmodeller og fremsyn
Prosjektleder:	Anne Madslien
Kvalitetsansvarlig:	Kjell Werner Johansen
Ferdigstilling:	Kamilla Flem Mathisen
Fagfelt:	Transportmodeller
Emneord:	Transportetterspørsel, Transportmodeller, Fremsyn, Backcasting

Kort sammendrag

I denne rapporten gjennomgår vi dagens transportmodeller og alternative modeller i lys av hvordan de egner seg til å framskrive transportetterspørselen under andre forutsetninger om fremtiden enn de som tradisjonelt har ligget til grunn for framskrivingene i forbindelse med Nasjonal transportplan. Rapporten inneholder også en praktisk gjennomgang av metoder for fremsynsmetodikk og backcasting i transport, samt hvordan enkelte utviklings-trekk forventes å påvirke transportetterspørselen.

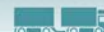
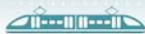
Hensikten med arbeidet er å gi innspill til hvordan ulike modellverktøy kan benyttes i framskrivinger og backcastingsprosesser for å nå oppsatte mål, f.eks. vedtatte klimamål.

Summary

In this report, we review current transport models and alternative models in terms of their suitability for projecting transport demand under different assumptions about the future than traditional baseline trends and assumptions. The report also contains a practical review of methods for foresight methodology and backcasting in the transport sector. It also reviews how certain developments (e.g., more electrification) are expected to affect the transport sector and how to model it.

The purpose of this review is to provide input on how to assess the various model and tools of analysis that can be used in projections and backcasting processes to achieve politically set goals, e.g. the 2050 climate targets.

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



Forord

Et sentralt problem med de siste nasjonale transportplanene (NTPene) er at den samlede effekten av de inkluderte prosjektene *i liten grad* er med på å underbygge sentrale politiske mål, som f.eks. klimamål og nullvekstmål. Effekten av de ulike prosjektene er analysert med utgangspunkt i hvordan de virker inn i et scenario basert på en framskriving basert på dagens reisevaner og transportmønster og en politikk som kun legger til grunn tiltak som allerede er besluttet, og disse framskrivingene trenger ikke sammenfalle med sentrale mål.

Denne rapporten er svar på et ønske fra transportvirksomhetene om en vurdering av transportmodellenes egnethet til å framskrive transportetterspørselen under andre forutsetninger om fremtiden enn de som tradisjonelt har ligget til grunn for framskrivingene i forbindelse med Nasjonal transportplan. I den sammenheng ønskes også en vurdering av hvilken modellutvikling som bør gjøres knyttet til dagens persontransportmodeller (RTM og NTM6) og godstransportmodellen (NGM), samt en vurdering av andre tilnærminger til analyse av framtidig transportetterspørsel.

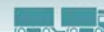
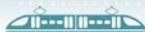
Arbeidet er gjennomført i løpet av kun to uker, og er derfor i stor grad en oppsummering av eksisterende kunnskap om transportmodellene og andre modelltyper, samt fremsynsmetodikk og backcasting. Kunnskapen er brukt til å foreslå metoder og idéer til hvordan man på kort og lenger sikt kan gjøre framskrivinger av transportetterspørselen som i større grad er i tråd med de ulike målsettingene.

Arbeidet er gjennomført av et stort antall TØI-forskere som tidligere har jobbet med ulike deler av problemstillingen. Rapporten er ført i pennen av Niels Buus Kristensen, Stefan Flügel, Inger Beate Hovi, Paal Wangsness, Wiljar Hansen, Askill Harkjerr Halse, Christian Steinsland, Bjørn Gjerde Johansen og Anne Madslien, med sistnevnte som administrativ prosjektleder. Niels Buus Kristensen har hatt ansvaret for å utarbeide one-pagere med hovedkonklusjoner. Disse er tatt inn som sammendrag i rapporten. Kjell Werner Johansen har hatt ansvaret for kvalitetssikring av arbeidet.

Oslo, november 2024
Transportøkonomisk institutt

Bjørne Grimsrud
Administrerende direktør

Kjell W. Johansen
Avdelingsleder



Innhold

Sammendrag

1	Innledning.....	1
2	Fremsynsmetodikk og Backcasting.....	3
2.1	Fremsynsmetodikk i transportmodellene.....	3
2.2	Bruk av transportmodeller til backcasting.....	5
2.3	De fem transportpolitiske hovedmål i Nasjonal Transportplan.....	7
2.4	Kvantifisering av NTP-hovedmålene	9
2.5	Utfordring ved backcasting.....	12
2.6	Framskriving av transportetterspørselen med de aktuelle utviklingstrekkene.....	13
2.7	Konstruksjon av relevante og tilstrekkelige scenarier	19
2.8	Scenarier som alternative etterspørselsframskrivinger til bruk for samfunnsøkonomiske prosjektvurderinger.....	22
3	Gjennomgang og vurdering av dagens transportmodeller.....	24
3.1	Persontransportmodellene RTM og NTM6.....	24
3.2	Vurdering av modellsystemet for persontransport	27
3.3	Forenklet modell basert på RTM	35
3.4	Nasjonalt godsmodellssystem	35
3.5	Vurdering av godsmodellssystemet	38
3.6	NOREG 2, en regional generell likevektsmodell	46
3.7	Modeller for kjøretøyparken	53
4	Andre typer transportmodeller og tilnærminger	55
4.1	Oversikt over andre transportmodeller.....	55
4.2	Motivasjon for andre transportmodeller i forbindelse med fremsynsmetodikk og backcasting	57
4.3	Aktivitetsbaserte modeller	59
4.4	Agentbaserte simuleringsmodeller.....	60
4.5	Andre dynamiske modeller.....	64
4.6	LUTI-modeller	67
4.7	Andre (raskere) tilnærminger	67
4.8	Relevans av andre modeller for diskuterte områder.....	69
5	Datagrunnlag	70
5.1	Persontransportmodeller	70
5.2	Godstransportmodeller	71
5.3	NOREG 2.....	72
6	Diskusjon og videre forskning	73
6.1	Utfordringer med fornying, forvaltning og vedlikehold.....	73
6.2	Diskusjon/perspektiv	73



6.3 Videre forskning.....	74
Referanser	77

Transporttetter spørsel ved fremsyn og backcasting

Vurdering av etablerte transportmodeller og andre verktøy

TØI rapport 2051/2024 • Forfattere: Niels Buus Kristensen, Stefan Flügel, Inger Beate Hovi, Anne Madslien, Paal B. Wangsness, Wiljar Hansen, Askill Harkjerr Halse, Christian Steinsland, Bjørn Gjerde Johansen • Oslo 2024 • 80 sider

I forbindelse med Nasjonal transportplan er framskriving av transporttetter spørselen et sentralt element i vurderingen av transportpolitiske tiltak og beslutninger om infrastrukturprosjekter. En utfordring med metoden som er brukt er at den samlede effekten av de inkluderte prosjektene *i liten grad* er med på å underbygge sentrale politiske mål, som f.eks. klimamål og nullvekstmål.

Framskriving av transporttetter spørselen og analyse av infrastrukturprosjekter har vært gjort ved bruk av Nasjonal persontransportmodell (NTM6), de regionale persontransportmodellene (RTM), Nasjonal godstransportmodell (NGM) og likevektsmodellen NOREG 2. Prosjektene vurderes i forhold til en referansebane, beregnet i modellene, med forutsetninger om den mest sannsynlige utvikling av inndata til modellene om samfunns- og teknologiutvikling over prosjektenes levetid. For politikkvariable antas gjeldende og vedtatt politikk, inkludert finansierte investeringsprosjekter, avgiftsnivåer og tilbud i kollektivtrafikken. Denne referansebanen og framskrivingene trenger ikke sammenfalle med sentrale mål.

Rapporten er svar på et ønske fra transportvirksomhetene om en vurdering av transportmodellenes egnethet til å framskrive transporttetter spørselen under andre forutsetninger om fremtiden enn de som tradisjonelt har ligget til grunn for framskrivingene i forbindelse med Nasjonal transportplan. I dette ligger også en vurdering av hvilken modellutvikling som bør gjøres knyttet til dagens persontransportmodeller (RTM og NTM6), godstransportmodellen (NGM) og likevektsmodellen NOREG 2, samt en vurdering av andre tilnærminger til analyse av framtidig transporttetter spørsel.

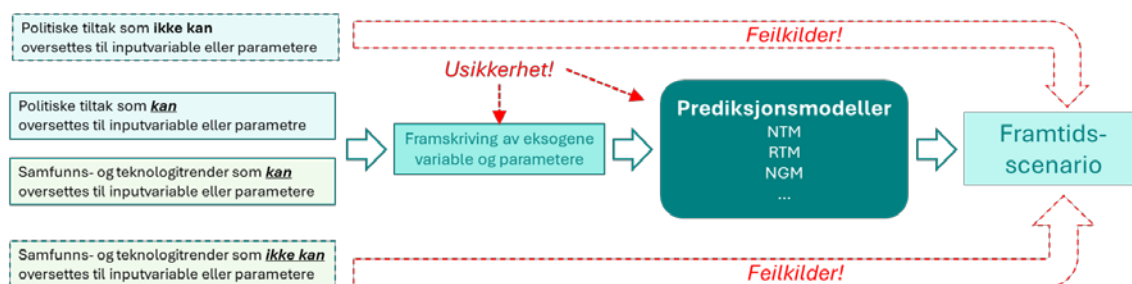
Arbeidet er gjennomført i løpet av kun to uker, og er derfor i stor grad en oppsummering av eksisterende kunnskap om transportmodellene og andre modelltyper, samt om fremsynsmetodikk og backcasting.

Framskriving og Backcasting

Framskriving

Utviklingen langt fram i tid er i sakens natur preget av stor usikkerhet som slår igjennom på *framskrivinger* av transportetterspørselen på forskjellige måter. Disse forskjellene gir tilsvarende forskjellige måter for å vurdere hvor mye usikkerheten påvirker transportetterspørselen:

- Noen utviklingstrekk, som for eksempel demografi, økonomisk vekst og lokalisering av befolkning og arbeidsplasser, håndteres eksplisitt i modellen. Usikkerheten for disse vil avspeiles direkte i inndata.
- Andre utviklingstrekk inngår bare implisitt i modellene, gjennom de parametrene i beregningsformler som bestemmer modellens output. For disse faktorene kan man forsøke å estimere konsekvensene for parametrene og endre kalibreringen av modellen.
- En tredje gruppe av utviklingstrekk er modellene ikke designet til å ta høyde for. Her må man endre modellenes struktur eller vurdere konsekvensene ved bruk av andre modelltyper.



Figur S 1: Muligheter og fallgruver knyttet til framskrivinger med eksisterende modeller.

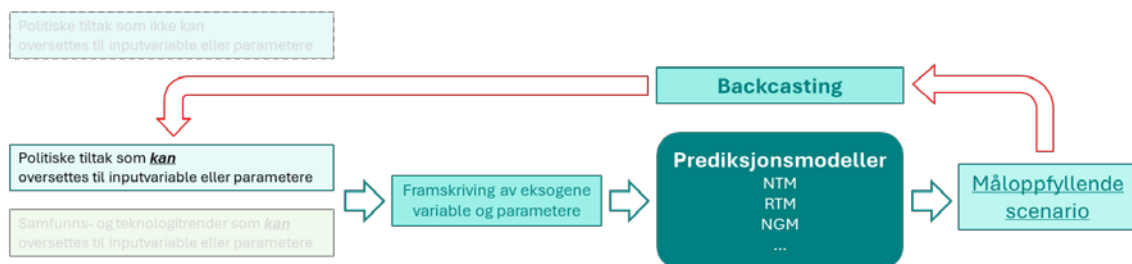
Lenger ned presenteres tre oversiktstabeller hvor de etablerte modellene for person- og gods-transport er vurdert i forhold til håndtering av en rekke aktuelle utviklingstrekk. Dette inkluderer en kvalitativ vurdering med fire kategorier, hvor fargekoder er brukt for å gi oversiktighet ved sammenlikning på tvers av utviklingstrekk og de ulike modellene:

- A. De vesentligste effekter kan tas med gjennom inndata som i dag framskrives på brukbar måte.
- B. Betydelig usikkerhet om hvordan trenden omsettes til inndata. Det krever nye analyser utenfor modellene.
- C. Krever vesentlige endringer i modellenes struktur og kalibrering. For eksempel tilføyelse av nye valgmuligheter.
- D. Håndteres bedre med utvikling av andre modeller. Mulig overføring av resultater til etablerte transportmodeller.

Backcasting

De transportpolitiske målene er formulert som et overordnet mål om et effektivt, miljøvennlig og sikkert transportsystem, noe som gjenspeiles i fem hovedmål om mobilitet, klima og miljø, trafikksikkerhet, ny teknologi og økonomi. Målene må konkretiseres og kvantifiseres for å kunne danne utgangspunkt for en vurdering av måloppfyllelsen, som ikke bare er subjektiv. I Nasjonal Transportplan er det derfor stilt opp en rekke indikatorer som skal ligge til grunn for oppfølgingen av målene for transportsektoren.

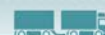
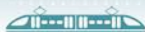
Referanseframskrivingen gir ikke nødvendigvis en utvikling som sikrer oppfyllelse av konkrete politiske mål. Dette er konkret tilfellet med nullvekstmålet og det langsiktige klimamålet om lavutslippssamfunnet. Andre mål, som for eksempel næringslivets konkurranseevne, er på nåværende tidspunkt ikke tilstrekkelig konkret kvantifisert til at modellberegninger kan anvendes til å analysere hva som skal til for å nå målene. Ytterligere politiske tiltak må da bli vedtatt og gjennomført framover for å nå målene. Transportmodellene kan da brukes til å *backcaste* utviklingen ved å skru på de av modellens inndata og parametere, som kan påvirkes av politiske tiltak. Måloppfyllelse kan skje med mange forskjellige kombinasjoner av tiltak. For å understøtte den politiske beslutningsprosessen kan man sette opp flere backcastingsscenarioer bestående av forskjellige pakker av tiltak.



Figur S 2: Eksempel på hvordan eksisterende modeller kan brukes i en backcastingsprosess.

Det er i hvert fall tre utfordringer ved å bruke de etablerte transportmodellene til backcasting:

- Modellene i dagens versjoner er ikke egnede til å analysere alle tiltak, så det kan være behov for videreutvikling for å kunne sammenlikne alle relevante pakker av tiltak for å nå målene
- Man må basere seg på solid og best mulig faglig grunnlag for de justeringer man gjør av modellenes inndata og parametere slik at modellberegningene faktisk tilsvarer effekten av tiltakene for å sikre at det ikke bare er ønsketenkning.
- Man må tilstrebe å analysere måloppfyllelse av alle mål (som er tilstrekkelig kvantifisert) i et simultant backcasting-scenario (der noen av målene kan være formulert som betingelser som må være oppfylt). Hvis man bare ser på ett mål av gangen er det en stor risiko for at de tiltak man setter opp for nå dette målet vil være inkonsistent med den virkemiddelpakken man setter opp for å nå et annet mål.



Oversikt for personmodellene RTM og NTM6

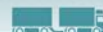
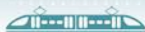
Tabell S 1: Oppsummering av ulike utviklingstrender og eksempler på hva som kan analyseres i RTM/NTM6, samt informasjonsbehov og/eller tilrettelegging for analyse.

Eksempler på hva som kan analyseres	Vurdering av modellenes egnethet
Økt vektlegging av militære behov	
– Endring i arbeidsplasser – Endringer i bosatte – Forbedret infrastruktur på gitte relasjoner	– Konkretisering av hvilke endringer som forventes i bosatte og arbeidsplasser (endring i inputfiler på grunnkrets nivå) – Eventuelle endringer i infrastruktur (som påvirker reisetider eller priser)
Klimaendringer og klimatilpasning av infrastruktur	
– Brudd i infrastruktur (vei, bane) pga. mer ekstremvær (skred, flom osv) – Områder blir vanskelig tilgjengelig – Innstillinger i fly- eller hurtigbåttilbud pga. mer uvær – Dårligere regularitet for kollektivtransport (buss) som følge av vanskeligere veivedlikehold og glattere veier	– Informasjon om endringer i nettverk eller kollektivruter (innstilling eller økt tidsbruk) – Kan forutsette uendret reisemønster (kun endring i rute- eller transportmiddel) eller at også reisefrekvens og destinasjonsvalg revurderes
Klimatilpasning av infrastruktur	
– Ikke direkte relevant for modellanalyse, så sant ikke infrastrukturen endres, f.eks. forbedring i en transportkorridor	– Eventuelle endringer i infrastruktur som påvirker reisetider eller priser (og dermed konkurransen mot andre ruter og/eller transportmåter)
Sterkere vekt på å unngå tap av natur	
– Strammere styring av arealpolitikken, i form av hvor boliger og arbeidsplasser lokaliseres – Strengere retningslinjer for hvilke infrastrukturprosjekter som kan gjennomføres – Sterkere restriktive virkemidler mot privatbilbruk for å hindre byspredning og redusere behovet for arealkrevende infrastruktur	– Konkretisering av endring i arealbruk, i form av inputfiler for bosatte og ulike arbeidsplasser i sonene. – Kan ADV (ArealData Verktøyet) være relevant? – Konkretisering av betydning for hvilken infrastruktur som skal analyseres (hva inngår i referansebanen og hva skal prosjektberegnes?) – Konkretisering av restriktive virkemidler – Høyere verdsetting av areal i samfunnsøkonomiske analyser?
Mer elektrifisering	
– Innfasingstakt for elektriske personbiler, varebiler, busser, ferger, fly – Utbygging av ladeinfrastruktur?	– Alternativ innfasingsbane for elektriske personbiler. – Innfasingsbane for varebiler (noe av deres kjøring er persontransport). – Effekt på ruteendringer eller billettpriser for busser, hurtigbåter og ferger. – Effekt på ruter og priser og atferd for nye flytyper – Eventuelle endringer i ventetid for hurtig-lading i korridorer. Krever noe videreutvikling av NTM6.
Innfasing av ny teknologi (inkludert nye mobilitetsløsninger)	
– Selvkjørende biler (endret tidsverdi sjåfør) – Bestillingstransport (robotaxi), individuell eller delt – Ulike former for mikromobilitet	– Eventuelle forutsetninger som påvirker kapasitetsfunksjonene i nettverket (tettere kjøring enn dagens biler?) – Senkede krav til førerkortbehov? – Tillates «sjåføren» å bruke tiden til annet? (endret tidsverdi?) – Nye mobilitetsløsninger vanskelig å ta inn i dagens modell, men mulig i en forenklet og mer fleksibel modell, basert på RTM – Krever nye data om egenskaper til nye mobilitetsløsninger og preferanser (alternativt: grove forutsetninger basert på andre kilder)
Økt bruk av og endret tilgjengelighet til bærekraftig drivstoff	
– I liten grad relevant for personbil – Økt bruk av bærekraftig drivstoff for buss, tog og fly	– Eventuell effekt på billettpriser i kollektivtransporten – Effekt på billettprisene for flyreiser. Kan eventuelt beregnes ved bruk av PACER-modellen.
De vesentligste effekter kan tas med gjennom inndata som i dag framskrives på brukbar måte.	
Betydelig usikkerhet om hvordan trenden omsettes til inndata. Det krever nye analyser utenfor modellene.	
Krever vesentlige endringer i modellenes struktur og kalibrering. For eksempel tilføyelse av nye valgmuligheter.	
Håndteres bedre med utvikling av andre modeller. Mulig overføring av resultater til etablerte transportmodeller.	

Oversikt for nasjonal godsmodell NGM

Tabell S 2: Oppsummering av ulike utviklingstrender og eksempler på hva som kan analyseres i NGM, samt informasjonsbehov og/eller tilrettelegging for analyse.

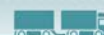
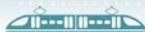
Eksempler på hva som kan analyseres	Vurdering av modellens egnethet
Økt vektlegging av militære behov - Forsterkning av kritiske bruer - Transport av militært utstyr - Endringer i totalberedskap av kritiske varer - Alternative distribusjonsopplegg i et Nordisk perspektiv	- NGM er velegnet til analyse dersom bruene i utgangspunktet har medført en flaskehals mht. tillatt bruksklasse - Hvor er beredskapslagre lokalisert? - Mer detaljert sonenivå og nettverk i aktuelle land (regioner)
Klimaendringer og klimatilpasning av infrastruktur Ny transportkorridor i Nordøstpassasjen	Nettverksendring og evt. justering av varestrømmer
Klimatilpasning av infrastruktur - Ikke direkte relevant for modellanalyse, men kan illustreres ved - kostnader som følge av brudd på infrastruktur (for vei og jernbane) og - behov for alternativ framføring og/eller rutevalg	- Må definere hvor, hvor lenge og evt. hvor ofte det er brudd på kritisk infrastruktur - Modell må kjøres med og uten brudd. - Resultater må vektes sammen og måles mot referanse
Sterkere vekt på å unngå tap av natur Restriksjoner på hvor (eksisterende) virksomheter kan være lokalisert eller vokse	- Overstyre regionaliserte vekstrater fra NOREG 2 - Splitte eventuelt berørte soner
Mer elektrifisering (Forsert) innfasing av elektriske lastebiler (Forsert) innfasing av elektriske båter - Utbygging av landstrøm - Elektriske terminaloperasjoner	- NGM har etablerte kostnadsmodeller for batterielektriske lastebiler - Kostnadsmodeller for batterielektriske skip må evt. etableres - Analyse av landstrøm og elektrifisering av terminaloperasjoner vil påvirke drivstofforbruk og utslipp i havn og jernbaneterminal. Dette må innarbeides i kostnadsmodell for omlasting. - NGM må kjøres med definerte teknologivalg og evt. vekte sammen flere scenario
Innfasing av ny teknologi (inkludert nye mobilitetsløsninger) - Autonome terminaloperasjoner - Autonome kjøretøy - Digitalisering - Plattformer for datadeling og transportformidling	- Autonomi kan analyseres forenklet ved å eliminere mannskapskostnader fra kostnadsmodell for spesifikke terminaloperasjoner og kjøretøy. Bør også vurdere justeringer av komponenter som anskaffelseskostnad og framføringshastighet - Grove anslag på effekter av digitalisering og optimering, kan gjøres ved å endre på parametere som framføringshastighet og drivstofforbruk (litteratursøk) - Effekter av transportformidlings-plattformer kan være økt utnyttelsesgrad pr kjøretøy/fartøy (litteratursøk)
Økt bruk av og endret tilgjengelighet til bærekraftig drivstoff - Følgende energibærere kan medregnes som bærekraftig (i minst en variant): - Biodiesel - Biogass - Hydrogen - Ammoniakk - Metanol	- NGM har etablerte kostnadsmodeller for spesifikke energibærere - Evt. definerte nettverk med tilgang til drivstoff (f eks transporter på gitte relasjoner, kystnære transporter eller nærskipsfart i Nordsjøbassenget) - NGM må kjøres for definerte teknologivalg og evt. vekte sammen flere scenario
De vesentligste effekter kan tas med gjennom inndata som i dag framskrives på brukbar måte.	
Betydelig usikkerhet om hvordan trenden omsettes til inndata. Det krever nye analyser utenfor modellene.	
Krever vesentlige endringer i modellenes struktur og kalibrering. For eksempel tilføyelse av nye valgmuligheter.	
Håndteres bedre med utvikling av andre modeller. Mulig overføring av resultater til etablerte transportmodeller.	



Oversikt for likevektsmodellen NOREG 2

Tabell S 3: Oppsummering av ulike utviklingstrender og eksempler på hva som kan analyseres i NOREG 2, samt informasjonsbehov og/eller tilrettelegging for analyse.

Eksempler på hva som kan analyseres	Vurdering av modellens egnethet
Økt vektlegging av militære behov – Endring i arbeidsplasser – Endringer i bosatte – Ringvirkninger av økt aktivitet i sektoren – Makroøkonomiske effekter	– Konkretisering av regionale endringer i bosatte og arbeidsplasser – Eventuelle endringer i infrastruktur (som påvirker reisetider eller priser) – Implementering av pendling i NOREG 2 og tettere integrasjon med NTM/RTM – Skille ut forsvarssektoren som egen næring
Klimaendringer og klimatilpasning av infrastruktur – Effekter på transporttettersspørselen av omstilling til et lavutslippssamfunn – Makroøkonomiske effekter av klimaomstilling – Regionale effekter av klimatilpasning – Utviklingsbaner for regional næringsvis økonomi gitt klimaomstilling – Regionale ringvirkninger av klimatiltak i transportsektoren – Næringsvise, regionale og makroøkonomiske effekter av samtidig virkemiddelbruk – Iterative analyser med NGM	– Tilpasninger i NOREG 2 omhandler i stor grad innhenting og bearbeiding av relevante data: – Etablere data for utslipp fra bruk av fossile energivarer – Skille mellom kvotepliktig og ikke-kvotepliktig sektor – Utslipp fra prosessindustrien – Beregne næringsvis utslippsintensitet – Implementere relevante skatter og avgifter – Kalibrering av utslipp
Klimatilpasning av infrastruktur – Ikke direkte relevant for modellanalyse, så sant ikke infrastrukturen endres, f.eks. forbedring i en transportkorridorer som gir endrede varestrømmer og/eller pendlingsstrømmer. Et slikt scenario vil kunne gi nye makroøkonomiske utviklingsbaner og regionale ringvirkninger	– Implementering av pendling i NOREG 2 og en tettere integrasjon med NTM/RTM
Sterkere vekt på å unngå tap av natur – Ikke direkte relevant for modellanalyser – Strammere styring av arealpolitikken, i form av hvor boliger og arbeidsplasser lokaliseres – Effekter som eventuelt gir endrede varestrømmer fra NGM og/eller – endrede pendlingsstrømmer i RTM/NTM	– Konkretisering av endring i arealbruk, i form av inputfiler for bosatte og ulike arbeidsplasser i sonene. – Implementering av pendling og en tettere integrasjon med RTM/NTM.
Mer elektrifisering - Innfasing av ny teknologi (inkludert nye mobilitetsløsninger) - Økt bruk av og endret tilgjengelighet til bærekraftig drivstoff – Dersom dette medfører endringer i varestrømmer (NGM) og/eller pendlingsstrømmer (NTM/RTM), kan de makroøkonomiske effektene analyseres i NOREG 2, inkludert næringsvise regionale vekstrater.	– Implementering av pendling i NOREG 2 og en tettere integrasjon med NTM/RTM.
MÅL om næringslivets konkurransekraft – Regionale og sektorvise effekter av politiske tiltak – Effekter på transporttettersspørselen av næringsrettede virkemidler	– Gjennomgå formuleringene av utenrikshandelen i modellsystemet
Grønn næringsomstilling – Eksportrettet grønn næringsvekst – Samtidig virkemiddelbruk for å stimulere grønn næringsvekst og opprettholding av næringslivets konkurransekraft	– Etablere data på kommunefordelt sektorvis eksport – Kombinere data fra eksportmeldingen med data fra NGM – Gjennomgå næringsspesifikke eksportelastisiteter i NOREG
De vesentligste effekter kan tas med gjennom inndata som i dag framskrives på brukbar måte.	
Betydelig usikkerhet om hvordan trenden omsettes til inndata. Det krever nye analyser utenfor modellene.	
Krever vesentlige endringer i modellenes struktur og kalibrering. For eksempel tilføyelse av nye valgmuligheter.	
Håndteres bedre med utvikling av andre modeller. Mulig overføring av resultater til etablerte transportmodeller.	



I følgende tabell diskuterer vi kort relevans og mulige anvendelsesområder for andre typer modeller i forhold til de aktuelle utviklingstrekkene. Flere av temaene trenger en mer inngående analyse og tabellen bør oppdateres etter det.

Mulige andre modeller i til analyse av utviklingstrekk og mål

Tabell S 4: Foreløpig vurdering av andre modeller i forbindelse med diskuterte områder.

Modelltype	Anvendelse	Kommentar
Økt vektlegging av militære behov		
LUTI-modeller (<u>L</u> and <u>U</u> se and <u>T</u> ransport <u>I</u> ntegrated models), Agent-baserte modeller	– Arealer reservert for militær bruk kan påvirke arealbruk, dette kan evt. modelleres i LUTI-modeller; – interaksjon mellom militære og sivile kjøretøy kan simuleres i agentbaserte modeller	– Noe uklart behov og mulighetsrom; – Trenger en dypere vurdering/ spesifisering
Klimaendringer og klimatilpasning av infrastruktur		
Simuleringsmodeller	– Analysere/simulering av evakuerings-scenarier (flom, ekstremvær) gitt kapasitet i veinett og informasjon om hvor alle personer oppholder seg på en gitt tid (via aktivitetsplaner)	– Lämmel mfl (2009)
Sterkere vekt på å unngå tap av natur		
LUTI-modeller	– Modellering av arealbruksplanlegging for å minimere inngrep i naturen	– Trenger en dypere vurdering
Mer elektrifisering		
Dynamiske modeller	– Simulere ladebehov over døgnet og flaskehals i hurtigladeinfrastruktur	– Se avsnitt 4.4
Innfasing av ny teknologi (inkludert nye mobilitetsløsninger)		
Uklart	– Uklart	– Se punkt «Mer elektrifisering»
Økt bruk av og endret tilgjengelighet til bærekraftig drivstoff		
LUTI-modeller	–	–
MÅL: Næringslivets konkurransekraft		
	– Vurdere påvirkning av transportinfrastruktur på næringslivets valg av lokasjon (som en proxy for endret konkurranseevne)	– Trenger en dypere vurdering
MÅL: Nullvekstmål i de store byområdene		
Aktivitets-baserte modeller, simuleringsmodeller	– Mer dynamisk modellering av tiltak i kø-belastede byområder	– Se avsnitt 4.2
SCENARIO: Radikalt ny hverdag		
Aktivitetsbaserte modeller	– Bedre kausale sammenhenger mellom sysselsetting, hjemmekontor, aktiviteter og transportbehov; konsistent modellering av heldaglige reiseplaner	– Sammenlignet med RTM-modellen der reisen opphav og fordeling predikeres med empiriske frekvensmodeller for enkelte (rundt)urer og destinasjonsvalg basert på soneattraktivitet.

1 Innledning

Å forsøke å forutsi fremtidig samfunnsutvikling vil alltid være forbundet med usikkerhet, og mange store endringer de senere år indikerer at vi kanskje er i en mer usikker tid nå enn i tidligere. Norge og verden kan befinne seg i vidt forskjellige scenarier mellom 2024 og 2050. *Scenarier* betyr i denne sammenheng hvilke megatrender og teknologiske- og samfunnsmessige transformasjoner som kan utfolde seg over en 25-50-årsperiode. Befolkningsvekst, økonomisk vekst, sikkerhetssituasjonen og effekter av Kunstig Intelligens (KI) og tilgrensende teknologier er eksempler på eksogene effekter, altså effekter som ligger utenom transportpolitikken 'influensområde', og som sannsynligvis vil påvirke samfunnet og mobilitetsbehovet.

For å nå fastsatte *transportpolitiske mål* kan man velge forskjellige *strategier*, det vil si sekvenser av tiltak i planleggingsperioden for analyseperioden. *Tiltakene* man legger inn i de ulike strategiene kan f.eks. inkludere:

- Infrastrukturtiltak (både fysiske og digitale)
- Prisingstiltak (på både jernbane, vei, luftfart og areal)
- Organisatoriske- og regulatoriske tiltak (innenfor både transport og areal)

Hensiktsmessig strategi vil, ut over forskjeller i politisk utgangspunkt, avhenge av om man befinner seg i en utvikling med f.eks. høy befolkningsvekst og høyt innslag av autonome kjøretøy, eller i en utvikling med lav befolkningsvekst og lavt innslag av autonome kjøretøy.

Denne rapporten er svar på et ønske fra transportvirksomhetene om en vurdering av de etablerte transportmodellenes egnethet til å framskrive transporttettersspørsmålet under andre forutsetninger om fremtiden enn de som tradisjonelt har ligget til grunn for 'Referansebanen', som er hovedframskrivningen i forbindelse med Nasjonal transportplan. De ønsker videre å få vurdert hvilken modellutvikling som bør gjøres knyttet til dagens persontransportmodeller (RTM og NTM6) og godstransportmodellen (NGM), samt en vurdering av andre tilnærminger til analyse av framtidig transporttettersspørsmål.

Det er et ønske om å kunne framskrive transporttettersspørsmålet gitt ulike utviklingstrekk, som avviker fra referansebanen. Dette startet i arbeidet med nåværende NTP, ved en erkjennelse av at framskrivinger av inndata til transportmodellene er forbundet med vesentlig usikkerhet, som har stor betydning for vekst og fordeling av den langsiktige transporttettersspørsmålet. Derfor ble det formulert en rekke alternative utviklingsbaner, som ble lagt til grunn som input i supplerende modellframskrivinger for å vurdere hvor store endringer det gav for transporttettersspørsmålet i framtidige år, med konsekvenser også for de samfunnsøkonomiske prosjektvurderingene.

En annen sentral utfordring med framskrivningene, som også er eksplisitt erkjent i NTP, er at de er i konflikt med en rekke sentrale transportpolitiske målsetninger. Det gjelder både for referansebanen og framskrivinger, hvor et prosjekt eller en portefølje av prosjekter forutsettes gjennomført (prosjektbanene). Det innebærer en implisitt antakelse om at målene ikke nås, og man kan da argumentere for at det er et feilaktig grunnlag for prosjektvurderingene, med mindre man vil revidere målene.

En alternativ tilnærming er å bruke *backcasting*, hvor man setter målene i førersetet ved å endre inndata i modellframskrivningene, så resultatene fra modellberegningene stemmer overens med målsetningene. Dette måloppfyllelses-scenarier kan man da legge til grunn for en alternativ prosjektvurdering, og man kan sammenligne med prosjektvurderingen basert på referansebanen.

Transportvirksomhetene ønsker på dette bakteppet å kunne:

- framskrive transporttetterørselen under andre forutsetninger om fremtiden enn de som tradisjonelt har ligget til grunn for referansebanen
- beregne transporttetterørselen gjennom tilbakeskriving/backcasting, der det er en forutsetning at målene i klimaloven, og mål om næringslivets konkurransekraft nås.

Konkret har transportvirksomhetene ønsket at det skal tas utgangspunkt i følgende aktuelle utviklingstrekk:

- økt vektlegging av militære behov
- klimaendringer og klimatilpasning av infrastruktur
- sterkere vekt på å unngå tap av natur
- mer elektrifisering
- innfasing av ny teknologi (inkludert nye mobilitetsløsninger)
- økt bruk av og endret tilgjengelighet til bærekraftig drivstoff

Sentralt i dette oppdraget er å vurdere hvordan disse utviklingstrekkene kan inngå i transportmodeller og andre modeller i framskrivinger av transporttetterørselen og hvordan modellene kan anvendes i scenarioanalyser av ulike strategier for nå målene. Dette er ingen triviell øvelse, da operasjonaliseringen av både mål, scenarier og strategier aldri vil kunne bli eksakt, men det er kritisk at den blir *så god som mulig* til planleggingsformål.

2 Fremsynsmetodikk og Backcasting

I dette kapittelet går vi et spadestik dypere i beskrivelsen av den fremsynsmetodikk som ligger til grunn for framskriving med de etablerte transportmodellene og beskriver noen viktige, prinsipielle forskjeller mellom referansebanen, alternative framskrivninger og backcasting. Deretter gis noen overordnede betraktninger om de ovenstående aktuelle utviklingstrekk og hvordan de kan forventes å påvirke transportetterspørselen og transportsystemet. Avslutningsvis presenteres en metodikk til vurdering av hvilke implikasjoner det har for håndtering i framskrivninger av transportetterspørselen.

2.1 Fremsynsmetodikk i transportmodellene

Transportpolitikken funksjon er å forsyne samfunnet med et 'bra' transportsystem. I NTP er det formulert gjennom det overordnede målet 'Et effektivt, miljøvennlig og trygt transportsystem i hele landet' med konkretisering i fem hovedmål, som vist i figur 2.1.



Figur 2.1: Målene for transportsektoren i NTP 2025-2036 (Meld. St. 14, 2024).

Investeringer i transportsystemet er en av de mest kostnadskrevenne oppgavene på det statlige anlegsbudsjettet, og detaljert innsikt i transportetterspørselen framover er derfor et avgjørende element for å disponere midlene fornuftig. Dette gjelder ikke bare samlet transportetterspørsel for personer og gods, men også fordelingen på transportformer, geografisk og over døgnet, og ikke minst hvordan denne etterspørselen reagerer på endringer i transportsystemet. Jo bedre service ulike deler av transportsystemet tilbyr, jo mer ønsker vi reise eller frakte gods. Dette er den helt sentrale oppgave som transportmodellene skal løse: Kvantitativt og detaljert beskrive transportetterspørselen og dens fordeling på ruter, både i dagens situasjon og utvikling langt fram i tid under antakelser om utviklingen i de forklarende faktorer som bestemmer etterspørselen.

I forbindelse med Nasjonal transportplan er framskriving av transportetterspørselen et sentralt element i vurderingen av transportpolitiske tiltak og beslutninger om infrastrukturprosjekter. Nasjonal persontransportmodell (NTM6), de regionale persontransportmodellene (RTM), Nasjonal godstransportmodell (NGM) og likevektsmodellen NOREG 2 er etablerte modellverktøy som brukes til denne framskrivingen.

Helt avgjørende for modellenes resultater er den framskriving av befolkning, arealanvendelse, økonomi og mange andre inndata som skjer utenfor transportmodellene. Transportetterspørselens påvirkning av disse variable, for eksempel av økonomisk vekst, er estimert på basis av observerte historiske sammenhenger. Framskrivning av disse *eksogene* variable og de parametere som bestemmer sammenhengene, er basert på en rekke antakelser om framtidig utvikling, som per definisjon også er usikre, noe som gjør det vanskelig å modellere radikale endringer.

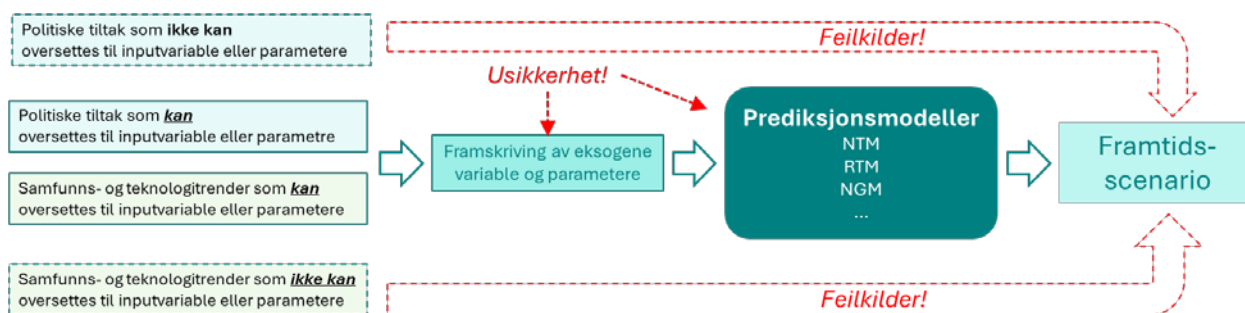
Flere rapporter har analysert en rekke sentrale samfunnsmessige og teknologiske trenders påvirkning på framtidig transporttetterpørsel og lønnsomhet av nasjonale veiinfrastrukturprosjekter; se bl.a. [Veien til framtiden \(2024\)](#) og [Alternative utviklingsbaner til NTP 2025-2036, TØI-rapport 1939/2023](#). I den sammenheng bør det også påpekes at trendenes innflytelse på beslutningsgrunnlaget for infrastrukturinvesteringer og andre transpolitiske tiltak ikke bare går gjennom effekten på transporttetterpørselen. De kan påvirke for eksempel investeringskostnaden eller verdien av prosjektet for trafikantene. Eksempler på det siste er at selvkjørende biler kan redusere verdien av spart reisetid ved å gi sjåføren mulighet på å bruke tiden på annet enn å kjøre bilen, eller at avanserte førerstøttesystemer kan redusere ulykkesrisikoen og dermed, alt annet likt, også verdien av (behovet for) investeringstiltak som øker trafiksikkerheten.

2.1.1 Usikkerhet og feilkilder i modellenes framskrivninger

Modellene kan være mindre egnet til å fange opp dynamikken i fremtidige teknologiske innovasjoner, endrede atferdsmønstre eller transformativ strategier som kreves for å nå ambisiøse mål. Gjøres ekstrapolering med relativt radikale endringer i variable, som behandles som eksogene i mange modeller, som arealbruk, lokalisering av bosatte og virksomheter, avgifter og subsidier mv., er de funksjoner som er estimert på historiske data mindre pålitelige. Supplerende analyser av hvordan individenes atferd reagerer på store endringer i noen av disse faktorene, kan derfor være en bra måte å teste modellenes robusthet i scenarier som avviker vesentlig fra hva som har vært gjeldende hittil.

Det er således to typer av usikkerhet knyttet til modellenes framskriving av transporttetterpørsel (som vist i figur 2.2):

- Usikkerhet knyttet til framskriving av inndata til modellene
- Usikkerhet knyttet til om de funksjonelle sammenhenger også vil gjelde i det framtidsscenario som er stilt opp



Figur 2.2: Muligheter og fallgruver knyttet til framskrivninger med eksisterende modeller.

Men framtidig transporttetterpørsel vil også være påvirket av faktorer som ikke er tatt inn i de etablerte transportmodellene. Det kan være nye teknologier eller kulturelle eller andre samfunnsmessige trender eller trendbrudd, som vil påvirke behovet for transport eller transporttetterpørselens fordeling på transportformer. Men det kan også være transportpolitiske tiltak som forventes å ha betydning på transportbehovet eller transporttilbudet, men som ikke kan legges inn i dagens versjoner av transportmodellene. Hvis disse faktorene endres i framtiden, er det *feilkilder* som vil bety endringer i transporttetterpørselen. Dette fanges ikke opp av modellenes resultater og framskrivninger, da disse gir den mest sannsynlige framskriving av transporttetterpørselen med de antakelser som er lagt til grunn.

- For noen av disse utelatte faktorene er det et bevisst valg for å unngå unødig kompleksitet, fordi modellene allerede er veldig kompliserte og krevende å bruke både med hensyn til ressursbruk

og den tid det tar å kjøre modellen. Dette har skapt et ønske om utvikling av enklere modellversjoner, som for eksempel kan brukes i tidlig fase av prosjektene eller til foreløpige/unøyaktige resultater, og ved det gi grunnlag for en vurdering av om det er verdt å foreta en full beregning.

- Hvis disse utelatte faktorene vurderes å kunne ha vesentlig betydning for fremtidig etterspørsel kan det være verdt å investere i modellutvikling, så man kan inkludere de utelatte faktorene i modellene.
- For en rekke faktorer er det ikke mulig, eller uforholdsmessig komplisert, å tilpasse de etablerte transportmodellene slik at de på en pålitelig måte kan ta inn effektene av disse faktorene. Et alternativ kan da være å utvikle andre transportmodeller eller mer generelle modeller, som også omfatter andre sektorer. I noen tilfeller vil resultatene fra analyser med alternative modeller kunne anvendes til å kalibrere de etablerte transportmodellenes parametere, slik at nivået på framtidig transporttettersspørsmål blir mer riktig.

Hovedoppgaven i dette prosjektet er å vurdere:

- om og hvordan etablerte transportmodeller kan videreutvikles til å kunne ta inn en bredere rekke av faktorer, og hvis ikke
- om andre kvantitative modeller eventuelt kan supplere dagens modellverktøy, eller
- om man må falle tilbake på mer kvalitative tilnærminger i analysen av effektene.

2.1.2 Referansebanen

Som angitt i figur 2.2 kan man dele opp effektene i modellen (gjennom de eksogene variabler og parametere) i de effekter som skjer mer eller mindre uavhengig av de beslutningene som tas politisk (her kalt samfunns- og teknologitrender), og de som kan påvirkes av de politiske beslutningene, enten som *avledet* virkning av annen politikk eller *direkte* som det som er intensjonen for beslutningen. I sistnevnte tilfelle vil det da være tiltak for å nå de transportpolitiske målene, jf. figur 2.2, for eksempel infrastrukturprosjekter som skal forbedre mobiliteten eller bompenger som reduserer trafikkveksten i byene.

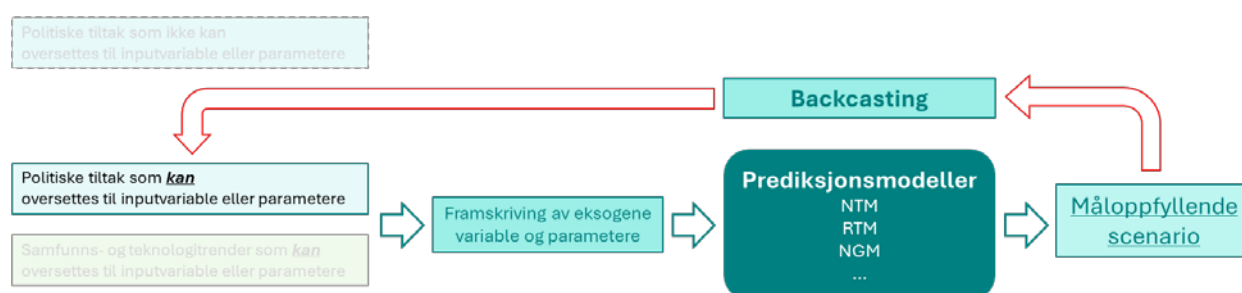
Når man bruker modellberegningene til å skape grunnlag for politiske beslutninger, er det derfor enklest å vurdere effektene av å treffe et politisk valg ved å sammenligne med en situasjon hvor effektene av andre tiltak som det ikke er truffet beslutning om, ikke er inkludert. Til dette formålet utvikles i forbindelse med NTP-analysene et basisscenario, *Referansebanen*, som investeringsprosjekter og porteføljer av prosjekter vurderes i forhold til. I Referansebanen framskrives samfunns- og teknologiutvikling langt fram i tid ut fra hva som anses som mest sannsynlig. Dette gjelder derimot ikke for de inndata som er politisk kontrollert, for eksempel investeringsprosjekter, reguleringer, avgifter og andre økonomiske virkemidler. For disse inndata forutsettes at kun *vedtatt politikk* legges til grunn, selv om dette antakelig ikke er en realistisk forutsetning.

2.2 Bruk av transportmodeller til backcasting

En utfordring i forhold til dagens bruk av beregninger med transportmodellene som grunnlag for transportpolitiske beslutninger, er at referansebanen i NTP-framskrivingen på noen sentrale områder ikke er i overensstemmelse med oppfyllelse av de overordnede transportpolitiske målene, som for eksempel reduksjon av klimagassutslipp, beskyttelse av natur eller nullvekstmålet for biltrafikken i de største byområdene. Det betyr at det i de kommende årene er behov for flere tiltak for å nå disse målene enn de som hittil har vært lagt til grunn i transportmodellberegningene.

Hvis inkonsistensen mellom uoppfylte (langsiktige) mål og referanseframskrivningen skal løses uten implisitt å forutsette at målene nedjusteres, må ytterligere politiske tiltak bli gjennomført framover for å nå målene. Man kan da stille opp alternative referansebaner, hvor man justerer transportmodellenes

inputvariable, slik at målene nås. Dette er en variant av 'backcasting' metodikk (se Boks 1 for utdyping av backcasting-metodologi generelt). Her blir ovennevnte distinksjon mellom inndata-variable, som *kan*, henholdsvis *ikke kan*, påvirkes av politiske tiltak viktig, da måloppfyllelse bare kan nås gjennom variable, som reelt kan påvirkes av tiltak. Graden av de politiske tiltak må fastlegges i en iterativ prosess med gjentatte beregninger med transportmodellene, til resultatene samsvarer med de kvantitative målene. Det er mulig at man politisk ønsker å bruke virkemidler for å nå målene som ikke kan oversettes til inndata i modellene, men at man uansett vurderer at de trekker i retning av å nå målene. Det vil typisk være tiltak som vil påvirke etterspørselen utenom de faktorene i modellene som beregner etterspørselen og dens fordeling geografisk og på transportformer. For å sikre seg at dette ikke bare er 'ønsketenkning'¹, må man skape et faglig grunnlag for disse vurderingene ved å anvende andre framskrivingsverktøy enn de etablerte modellene. I noen tilfeller kan man da etterpå kalibrere transportmodellene, slike at de tilnærmet reproducerer det nivå og sammensetting av etterspørselen som er beregnet utenfor de etablerte modellene.



Figur 2.3: Eksempel på hvordan eksisterende modeller kan brukes i en backcastingsprosess.

I grunnlagsarbeidet for nåværende NTP ble det definert og analysert alternative utviklingsbaner, ved at det ble gjort beregninger med andre forutsetninger om trender og politikkforutsetninger, bl.a. i forhold til bompengetakster, veipricing i byområder mm. (TØI-rapport [1957/2023](#), [1926/2022](#) og [1939/2023](#)).

Backcasting kan brukes som beslutningsstøtteverktøy for i hvert fall to beslektede typer av transport-politiske beslutninger:

- Til å vise *det politiske mulighetsområdet* for å nå målet; det vil si å presentere for beslutnings-takere forskjellige kombinasjoner av tiltak som når målene, og hvor omfattende bruk av virke-midler som må til.
- Alternativ utviklingsbane* (i f.t. Referansebanen) for basisalternativet og prosjekalternativet i transportmodellberegningene, som grunnlag for nyttevurderingene i samfunnsøkonomiske analyser av infrastrukturinvesteringer. Dette kan for eksempel være som del av det forbered-ende arbeid i forbindelse med NTP-prioriteringen av investeringstiltak, hvor man ønsker å vur-dere lønnsomheten av prosjektene med en framskrivning av etterspørselen som er konsistent med en eller flere gitte målsetninger for transportsektoren.

I forhold til formål (b) kan det bemerkes at de investeringsprosjektene som inngår i prioriteringen per definisjon da ikke kan inngå som tiltak i måloppfyllelsscenariet.

¹ Et tenkt eksempel kunne være at man vil gjennomføre opplysningskampanjer for å få x% av bilistene til i stedet å velge kollektiv eller sykkel og gange, f.eks. ved opplysning om hvor mye bilen betyr for klimabelastningen og hvor godt det er for helsen å sykle og gå. Da må man sikre seg at det faktisk er mulig å nå x% med dette tiltaket.

Boks 1 Hva betyr backcasting?

Formålet med backcasting er å sikre at analysene er i tråd med noen vedtatte politiske mål. En backcastingsprosess består av minst to deler:

- I første del definerer man en ønsket fremtid eller mål og
- I andre del etablerer man strategier (sett med tiltak) for å oppnå denne fremtiden.

Dette forutsetter at disse målene er klart definert på en måte som gjør det mulig å avlede de rammebetingelsene som skal inngå i analysene.

Backcasting er en tilnærming som kan inkludere et bredt spekter av metoder innenfor fremsyn. I tradisjonell forstand har backcasting en mer kvalitativ og kreativ natur (Popper 2008), men i praksis varierer dette. Kishita et al. (2024) foreslår et rammeverk for å definere typen backcasting, der det blant annet skilles mellom kvalitativ og kvantitativ backcasting. Med fokus på transportmodeller i dette prosjektet, ligger det i kortene at oppdragsgiver er interessert i kvantitativ backcasting der transportmodeller og andre kvantitative metoder brukes til å analysere hvilket sett av tiltak som fører til ønsket måloppnåelse.

I backcasting ligger målene typisk langt fram i tid (f.eks. klimamålene i 2050), og den underliggende antagelsen er at «business as usual» og marginale tiltak ikke vil føre til det ønskede fremtidsbilde. Det vil derfor være nødvendig å utvikle strategier som muliggjør nødvendige systemtransformasjoner.

Siden utvikling av rammebetingelsene (demografi, teknologi, «den nye hverdagen», ...) er svært usikker, vil settet av tiltak som fører til måloppnåelse avhenge av hvilket fremtidsscenario man legger til grunn. En vurdering av transportmodeller for backcasting er derfor stort sett overlappende med en vurdering av transportmodeller for scenarioanalyse. Et eksempel på kvantitativ backcastingmetodikk er bruk av klimaøkonomiske modeller til å avlede den prisen på karbonutslipp som er konsistent med vedtatte mål om å begrense den globale oppvarmingen (Rosendahl & Wangsness, 2024).

Det kan være hensiktsmessig å skille mellom backcasting/scenarioanalyse og følsomhetsanalyser/analyse av usikkerhet ved framskrivninger. I begge tilfeller bruker man transportmodeller ved å variere eksogene variabler til modellen, men det ligger en forskjell i at man i scenarioanalyse (f.eks. som del av en backcastingsprosess) typisk vil endre flere variabler samtidig og/eller innføre nye elementer/mekanismer i modellen.

OECD (2023) viser hvordan man ved å bruke scenarier kan kvantifisere økonomiske konsekvenser med relativt kraftig virkemiddelbruk for å nå 2050 målene for CO₂-utslipp fra transportsektoren.

2.3 De fem transportpolitiske hovedmål i Nasjonal Transportplan

De transportpolitiske målene, slik de er formulert i det overordnede mål og de fem hovedmål, må konkretiseres og kvantifiseres for å kunne danne utgangspunkt for backcasting og i det hele tatt for at det gir mening å vurdere måloppfyllelsen. I NTP (s. 38) er det derfor stilt opp en rekke indikatorer som skal ligge til grunn for oppfølgingen av målene for transportsektoren. Disse er vist i tabell 2.1.

Tabell 2.1: Indikatorer for oppfølgingen av målene for transportsektoren (NTP s. 38).

Enklere reisehverdag og økt konkurranseevne for næringslivet	– Endring i reisetid – Oppetid på riksveinettet – Driftsstabilitet for person- og godstog
Bidra til oppfyllelse av Norges klima- og miljømål	– Endring i klimagassutslipp fra transportsektoren målt i CO₂-ekvivalenter – Netto antall dekar inngrep i verneområder, områder med kritisk truede, sterkt truede eller sårbare naturtyper – Dekar beslag av jordbruksareal (fulldyrket jord, overflatedyrket jord og innmarksbeite)
Nullvisjon for drepte og hardt skadde	– Endring i antall drepte og hardt skadde
Effektiv bruk av ny teknologi	– Det er ikke fastsatt en indikator for dette målet. – Måloppnåelsen vurderes kvalitativt.
Mer for pengene	– Netto nytte av investeringstiltak – Endring i investeringskostnad siden sist fremlagte nasjonale transportplan

Helt generelt kan man si at de fem overordnede målene har forskjellig karakter:

- de tre første målene er det vi egentlig ønsker å oppnå ved å utvikle transportsystemet: Vi ønsker å maksimere mobiliteten for befolkning og næringsliv samtidig med at vi minimerer transportens negative konsekvenser for mennesker og omgivelser, i form av høy trafiksikkerhet og lav miljøpåvirkning.
- De to siste målene er basalt sett ikke mål, men kriterier som skal sikre at samfunnet scorer høyest mulig på de tre første målene. Ressursene er i sakens natur begrensede, så ved å drive og bygge transportsystemet smartere og prioritere de prosjektene som gir størst avkastning, kan vi få det best mulige transportsystem gitt de ressursene man velger å bruke på samferdselssektoren.

På grunn av store investeringskostnader og negative sideeffekter av transport, er det samlede målbilde og de hensyn som skal tas i særlig grad komplekse. Målene vil ofte trekke i forskjellige retninger, så vi kan få dårligere måloppfyllelse for noen av målene, hvis vi ikke legger til grunn en helhetsbetraktning. Tiltak som gir mest mulig mobilitet, kan gå ut over trafiksikkerheten eller miljøet. Tilsvarende kan det være enkle løsninger for å redusere arealbruk og klimagassutslipp hvis vi ikke trenger å ta hensyn til hvordan det påvirker mobiliteten.

Uansett gir det bare mening å snakke om en transportpolitikk hvis det å legge til rette for gode mobilitetsmuligheter for befolkningen er et sentralt fokus i politikken. Satt på spissen kan man si at enklere reisehverdag for både personer og næringsliv er det egentlige målet med transportpolitikken, der de øvrige målene er rammebetingelser eller bibetingelser som samtidig må være oppfylt. Det vil dog være feil tolkning å si at dette innebærer at målet er viktigere enn bibetingelsene, snarere tvert imot da bibetingelsene må overholdes, og man må få til best mulig mobilitet innenfor denne rammen.

Denne tilnærmingen til transportpolitikken, som optimering av mobiliteten innenfor en ramme av andre hensyn, er i praksis bare mulig i det omfang hver av disse rammebetingelsene er konkretisert tilstrekkelig til å kunne oversettes til et absolutt mål for en kvantitativ indikator, for eksempel totalt CO₂-utslipp år

fra transportsektoren. I neste avsnitt analyseres mulighetene for kvantifisering for hvert av NTP-hovedmålene.

De fem målene kan som nevnt trekke i forskjellige retninger, og det innebærer at strategier som kommer ut som en bra pakke av tiltak i en backcastingsprosess for å overholde en rammebetingelse, kan virke imot oppnåelse av en annen rammebetingelse. For å løse eller avveie denne målkonflikten er det optimalt å ta en helhetsbetraktning på måloppfyllelsen, hvor alle de absolutte målene som skal nås dras inn som rammebetingelser i *samme* backcastingsprosess.

De samfunnsmessige hensynene hvor det ikke er mulig å formulere konkrete absolutte mål, må inngå i en samlet avveining. De samfunnsøkonomiske analysene er et forsøk på å foreta en konsistent og transparent vekting fra et samfunnsperspektiv, men denne avveiningen vil i siste instans være politisk og også involvere fordelingshensyn mellom ulike befolkningsgrupper, deler av landet, generasjoner osv. Som en del av den samfunnsøkonomiske analysen foretas nytte-kostnadsanalyser (NKA), hvor man beregner nettoeffekten av de konsekvensene av prosjektet/politikken som man er i stand til å prissette, inklusiv investerings- og driftskostnadene, spart reisetid, endringer i drepte og hardt skadde, endring i CO₂-utslipp og en rekke andre effekter.

Det kan oppstå situasjoner hvor man basert på samfunnsøkonomiske analyser velger å gjennomføre en pakke av tiltak som fremstår som samfunnsøkonomisk effektive, men som likevel er i konflikt med en rammebetingelse. Dette kan for eksempel være et bindende klimamål for transportsektoren. Dette betyr implisitt at verdsettingen av CO₂-utslippet i de samfunnsøkonomiske analysene av tiltak i transportsektoren er for lav. En årsak til denne uoverensstemmelsen kan være at verdien er fastsatt som den tverrsektorielle marginale kostnad (karbon-skyggeprisen) for å oppnå et samlet nasjonalt (eller globalt) klimamål i et kostnadsminimerende scenario på tvers av sektorer, og at denne skyggeprisen er lavere enn den marginale kostnaden for å nå klimamålet i transportsektoren.

2.4 Kvantifisering av NTP-hovedmålene

2.4.1 Enklere reisehverdag og økt konkurranseevne for næringslivet

Når det gjelder den del av målet som omhandler økt konkurranseevne for næringslivet, er det overordnede målet om et effektivt transportsystem bare en av mange faktorer, der noen andre faktorer vel er enda mer sentrale. Transportpolitikken bidrag til konkurranseevnen må først og fremst være gjennom å dra ned virksomhetenes transportkostnader. Enkle arbeids- og tjenestereiser er en viktig betingelse for næringslivet, men i tillegg kommer godstransporten, hvor påliteligheten er avgjørende, jf. indikatorene om oppetid for riksveinettet og driftsstabiliteten for tog, som naturligvis også gjelder for persontransporten. Kostnadene ved transport av varer til utenlandske markeder spiller en særlig rolle, fordi Norge som et utkantsland i forhold til det dominerende europeiske markedet har en kostnadsulempe i forhold til de fleste europeiske konkurrenter.

En operasjonell kvantifiserbar indikator for godstransportkostnaden kunne være gjennomsnittlig enhetskostnad i NOK per tonnkilometer for all godstransport i Norge. For å få en riktig indikator bør man da antakelig veie sammen enhetskostnader for henholdsvis vei, sjø og bane med verdien av godset, i stedet for vekten av godset. For å kunne inngå i backcastingsanalyser må man sette opp mål for enhetskostnaden, eventuelt ved å sammenholde med sammenlignbare tall for andre land. Indikatoren kan også brukes til å undersøke hvordan et transportsystem i tråd med klima- og naturmålene vil påvirke næringslivets konkurransekraft.

Fremhevelsen av 'hele landet' understreker den politiske vektlegging av å kunne opprettholde et bærekraftig næringsliv også utenfor de store byene. Det er derfor mulig at man også må se på regionale forskjeller i godstransportkostnadene.

Som argumentert ovenfor kan enklere reisehverdag og økt konkurranseevne for næringslivet brukes som mobilitetsmål for personer og gods. Bruk av begrepene 'enklere' og 'økt' indikerer imidlertid at disse målene ikke er absolutte og derfor ikke er relevante å formulere som rammebetingelser i backcastinganalyser.

2.4.2 Bidra til oppfyllelse av Norge klima- og miljømål

Klimamål

Norges klimamål for hhv. 2030 og 2050 er nedfelt i [Klimaloven](#). Norge har som mål om å bli et lavutslippssamfunn i 2050, definert som utslippsreduksjoner i størrelsesorden 90 til 95 prosent fra utslippsnivået i referanseåret 1990 (§4). Norges klimamål for 2030 under Parisavtalen er å redusere utslippene av klimagasser med minst 55 prosent i 2030 sammenlignet med nivået i 1990 (§3).

I følge NTP 2025-2036 (s. 74) så har man i Regjeringens klimastatus og -plan 2024 beregnet at *vedtatt og planlagt* politikk etter august 2022 kan redusere utslippene fra transport tilstrekkelig til at halveringsambisjonen for transportsektoren nås, men det påpekes at både utslippsutviklingen og effektberegningene er usikre (s. 74). Av planen framgår også at de sentrale virkemidlene til å redusere transportsektorens klimagassutslipp framover er CO₂-avgift, omsetningskrav for bærekraftig (bio-)drivstoff og insentiver som fremmer nullutslippsteknologier (KMD, 2023 Avsnitt 3.2.1).

Klimautvalget 2050 sin NOU 2023: 25 *Omstilling til lavutslipp – Veivalg for klimapolitikken mot 2050* fra oktober 2023 anbefaler bl.a. at arbeidet med Nasjonal transportplan skal ta utgangspunkt i backcasting. (NTP s. 71). I lys av usikkerheten kan backcasting også være relevant for 2030-målet og kommende milepæler på veien mot 2050. Tiltak for å nå lavutslippssamfunnet i 2050 handler i transportsektoren til en viss grad om å begrense etterspørselen, men først og fremst om omfattende innfasing av nullutslippskjøretøy og -fartøy, der det vil være nødvendig med bruk av grønt drivstoff basert på biomasse og/eller strøm (Power-to-X). Hva som skal til for å få til denne omstillingen av transportmidler og drivstoff raskt nok kan best håndteres utenfor transportmodellene, men uansett hvilke virkemidler som velges må det forventes å gi kostnadsendringer for de ulike transportformene. Det vil få konsekvenser for transportetterspørselen, som kan analyseres med transportmodellene i den grad kostnadsendringene kan kvantifiseres utenfor modellene. For godsmodellen er det etablert kostnadsmodeller for ulike drivlinjer, men for å analysere effektene av innfasing av nye drivstoff må det gjøres eksogene forutsetninger om hvilke drivstofftyper som tas i bruk (fordeling på ulike typer). For godsmodellen påvirkes samlet transporttetterpørsel ikke av kostnadsendringer.

Etter hvert som transportmidlene endres til nullutslipp, vil transportpolitikens klimadimensjon i stadig høyere grad dreie seg om CO₂-utslippet fra anleggsfasen av infrastrukturprosjektene. Disse utslippene beregnes selvsagt med andre verktøy enn transportmodellene. I det nasjonale klimaregnskapet henføres disse utslippene ikke til transportsektoren, men til bygg- og anleggssektoren. I konkretisering av kvantitative klimamål for transportsektoren blir det derfor relevant å forholde seg til hvordan disse utslippene bør inngå.

Miljømål

Norge har sluttet seg til den globale Naturavtalen, som ble nådd under FNs naturtoppmøte i 2022. Norge har dermed forpliktet seg til å verne 30 prosent av all natur på land innen 2030, samt 30 prosent av hav, innsjøer og elver. 30 prosent av all natur som er delvis ødelagt skal være restaurert innen 2030 (*Samferdselsdepartementet, 2024:5.3.1*).

Dyrkbar mark er en knapp ressurs både globalt og nasjonalt, og Norge har lite jordbruksareal sammenlignet med mange andre land. Norsk politikk vektlegger at Norge skal ha mulighet for å produsere mat på egen jord. Ifølge *Oppdatert jordvernsstrategi*, som Stortinget vedtok i juni 2023, vil Regjeringen 'at den årlige omdisponeringen av dyrka jord ikke skal overstige 2 000 dekar, og at målet skal være nådd innen 2030.' (Prop. 121 S 2022–2023, vedlegg 9).

Både mål for naturinngrep og jordvern må forventes å legge begrensninger for omdisponeringen av arealer til boligutbygging, industriutvikling, nye jernbanetraseer og veier o.a. De begrensninger som vedrører utbyggingen av transportinfrastruktur påvirker bare transporttettersspørsmålet gjennom hvor mange og hvilke prosjekter som legges inn i modellene, og de bør derfor ikke gi anledning til endringer i transportmodellene. Derimot bør restriksjoner på arealbruk til boliger, næringsliv og annet inngå i framskrivningene av befolkning, arbeidsplasser og andre faktorer som påvirker modellenes turgenerering og attraksjon i de enkelte grunnkretsene, og dermed transporttettersspørsmålet.

Operasjonalisering av disse miljømålenes innvirkning på transportmodellenes framskrivinger krever en rekke antakelser om hvordan disse overordnede nasjonale målene skal omsettes til begrensninger i arealutnyttelsen lokalt. Denne problematikken er utdypet noe senere i rapporten.

Nullvekstmålet

Begrensning av biltrafikken i de store byområdene har vært en sentral strategi i transportpolitikken i omtrent 15 år. I de nasjonale transportplanene har strategien vært uttrykt i *nullvekstmålet*, som gjelder i byområdene som har byvekstavgift med staten.

Når vi her velger å kalle nullvekstmålet som en strategi snarere enn et mål i seg selv, er det fordi det er et tiltak som, sammen med effektiv arealbruk, skal bidra til en rekke mer grunnleggende mål relatert til klimagassutslipp og bymiljø:

‘Nullvekstmålet dekker flere viktige hensyn, og er formulert som følger: Klimagassutslipp, kø, luftforurensning og støy skal reduseres gjennom effektiv arealbruk og ved at veksten i persontransporten tas med kollektivtransport, sykling og gange.’ [NTP s. 46]

Det vurderes i NTP at oppnåelse av nullvekstmålet sannsynligvis vil komme under sterkt press de neste årene.

Videre viser erfaringene at i pakken av virkemidler, har bompenger vært et essensielt element i å begrense biltrafikken i byene. Også framover er forbedring av kollektivtrafikken alene neppe tilstrekkelig til å oppfylle nullvekstmålet. Økonomiske virkemidler som gjør bilen mindre attraktiv enn i dag vil antakelig være nødvendig. Dette er i kontrast til referansebanen, hvor gjennomsnittlige drivstoffavgifter og parkeringsbetaling gradvis avtar i takt med at elbilen får større andeler av bilflåten (Kristensen, 2023 s. 19).

Som oppfølging på nullvekstmålet er det utviklet en veldefinert hovedindikator for biltrafikkens utvikling, som måles opp mot et referanseår. Denne indikatoren kan mer eller mindre direkte legges til grunn for backcasting, hvis man ønsker at nullvekstmålet skal inngå i et måloppfyllelsesscenario. Dette er styrken ved nullvekstmålet. Omvendt er svakheten at det, som grov indikator for de egentlige målene, ikke nødvendigvis resulterer i optimal strategi for å nå disse målene.

2.4.3 Nullvisjon for drepte og hardt skadde

For *null-visjonen* så kan man si at det nærmest per definisjon er et kvantifisert mål. Det er neppe i dag mulig å sette sammen en pakke som gir full måloppnåelse, men hvis man politisk definerer milepæler på veien til visjonen kan disse analyseres med backcasting. Tiltak som påvirker transporttettersspørsmålet og fordelingen mellom transportformer vil også påvirke indikatoren for null-visjonen, fordi det er forskjell i ulykkesfrekvens for de ulike transportformene. Tilsvarende kan den samlede effekten av tiltak, som gjør trafikken sikrere eller reduserer trafikken, kvantifiseres ved bruk av transportmodellene, forutsatt at effekten (på ulykker) per transportmiddel-km er estimert utenfor modellene.

2.4.4 Effektiv bruk av ny teknologi

Det er ikke mulig å anvende backcasting for målet om *effektiv bruk av ny teknologi*, når måloppnåelsen her eksplisitt sies å skulle vurderes kvalitativt. Men mulighetene for å bruke transportmodellene til beregning av konsekvensene for transporttettersspørsmålet av *innfasing ny teknologi* (inkludert nye

mobilitetsformer) som aktuelt utviklingstrekk vil bli vurdert i avsnitt 3.2.5 for dagens persontransportmodeller, 3.5.3 for godstransportmodellen og 4.8 for andre modelltyper.

2.4.5 Mer for pengene

I forhold til målet *Mer for pengene* er transportmodellene og hele rammeverket rundt samfunnsøkonomiske vurderingsmetoder designet for å vurdere indikatoren '*Netto nytte av investeringstiltak*' og for å kunne svare på hvordan man får '*mest* for pengene' for en gitt budsjetttramme med de begrensninger som ligger i usikkerhet og at ikke alt kan verdsettes. Indikatoren for prosjektenes *investeringskostnader* inngår naturligvis også sentralt i de samfunnsøkonomiske analysene, men vurdering av tiltak til å redusere kostnadene for de enkelte prosjektene kan bare analyseres utenfor transportmodellene.

Mer for pengene spiller også sammen med målet om økt konkurranseevne for næringslivet. Hvis man forsterker fokus på å velge prosjekter med positiv netto nytte og unngå prosjekter med negativ netto nytte vil det være med på å styrke Norges konkurransekraft, som påpekt av Produktivitetskommissjonen (2015). Investeringer med negativ netto nytte er lite produktiv bruk av kapital. Investeringen krever også isolert sett et høyere skattetrykk, som gir uheldige vridninger i økonomien og er med på å svekke konkurransekraften generelt.

2.4.6 Oppsummering om backcasting i forhold til de fem hovedmålene

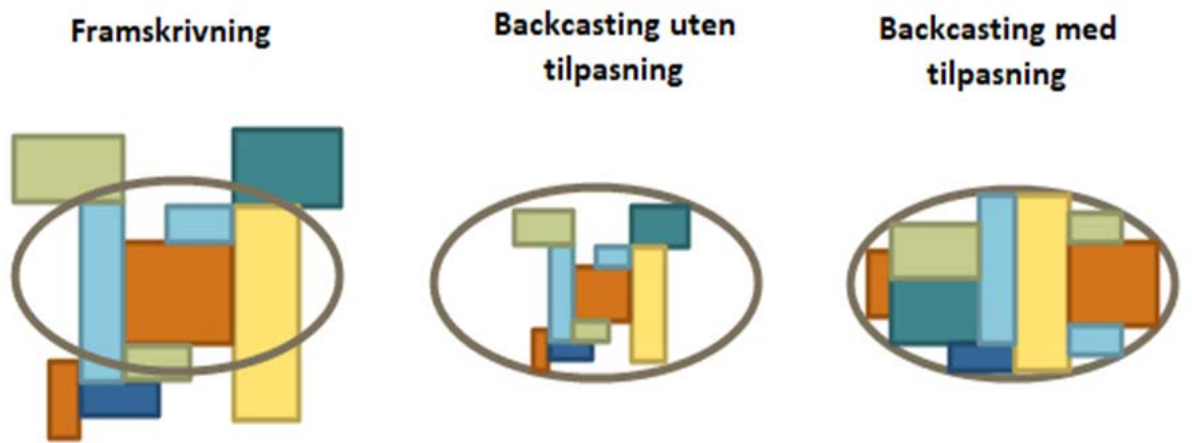
Oppsummert vurderes på bakgrunn av de fem hovedmålene,

- at det først og fremst er hovedmålet om å *bidra til Norges klima- og miljømål*, inkludert *nullvekstmålet*, som det er relevant å analysere med backcasting på det foreliggende grunnlag.
- at *enklere reisehverdag* og *økt konkurranseevne* for næringslivet også kan analyseres ved backcasting, men det krever ytterligere spesifisering og kvantifisering av disse målene.
- at det for *null-visjonen for drepte og hardt skadde* neppe er mulig å formulere tiltak som sikrer full måloppnåelse, men backcasting kan anvendes hvis man formulerer realistiske delmål på vei en til visjonen. Størstedelen av formulering av strategier og effektvurdering av tiltak som kan *redusere* antallet drepte og hardt skadde skjer best utenfor transportmodellene, men på basis av input derfra kan modellene anvendes til å beregne den samlede effekten på trafiksikkerheten.
- at effektiv bruk av ny teknologi ikke kan dras inn i backcasting når måloppnåelsen bare vurderes kvalitativt.
- at mer for pengene er utgangspunktet for hele metodeapparatet for de samfunnsøkonomiske vurderingene, hvor detaljerte resultater fra transportmodellene inngår som det sentrale beregningsgrunnlag for effektvurderinger av et konkret prosjekt eller en pakke av prosjekter.

2.5 Utfordring ved backcasting

Fra et isolert faglig perspektiv er det en utfordring at det eller de målene som er formulerte som rammebetingelser i backcastingen kan nås på mange forskjellige måter med ulike kombinasjoner av en rekke tiltak. Det er som regel både komplekst og konfliktfylt, og dermed en politisk prioritering, hvilken sammensetning av tiltak man velger for å nå oppsatte mål. I praksis er det derfor ikke mulig å få en felles politisk uttalelse om hvilke ikke-vedtatte tiltak man vil anvende for å nå målene, som utgangspunkt for å oppstille et backcasting-scenario som samsvarer med måloppfyllelse. For å understøtte den politiske prosessen mot vedtak av tiltak som når de forskjellige målene, kan man i stedet gjennomføre forskjellige backcastingforutsetninger, som kan gi politikerne et bilde av hvor mye som skal til med forskjellige virkemidler for å nå målene.

For at backcastingsprosessen skal identifisere de best egnede sekvensene av tiltak (strategier), er det videre avgjørende at en bruker modellene på en slik måte at en får med alle de relevante tilpasningene som folk og bedrifter gjør når rammebetingelsene endrer seg. Hvis ikke risikerer en at omstillingen framstår mer kostbar enn det som reelt sett er tilfelle, for eksempel i form av kraftig redusert mobilitet eller verdiskaping. Dette er illustrert i figuren under.



Figur 2.4: Illustrasjon av betydningen av å ha med relevante atferdsmessige tilpasninger i analysene når en gjør backcasting med utgangspunkt i endrede rammebetingelser. Ellipsen illustrerer rammebetingelsene med utgangspunkt i politisk vedtatte mål, og hvitt areal illustrerer utnyttet potensiale.

2.6 Framskrivning av transportetterspørselen med de aktuelle utviklingstrekkene

I dette avsnittet omtales hvilken betydning de ulike utviklingstrekkene kan ha for transportsektoren, med fokus på effektene på transportetterspørselen sammenliknet med hva som er lagt til grunn i dagens framskrivinger med transportmodellene. Hvordan de etablerte transportmodellene kan håndtere disse utviklingstrekkene og eventuelle behov for forbedringer eller reviderte inndata analyseres i avsnitt 3.2.5 (persontransportmodellene) og 3.5.3 (godstransportmodellen). I den grad de etablerte transportmodellene ikke håndterer et konkret utviklingstrekk på tilstrekkelig bra måte, kan det være relevant ta fram andre modelltyper som bedre kan analysere effekten av disse utviklingstrekkene. Dette vurderes nærmere i avsnitt 4.8.

Selv om fokus i denne rapporten er på utviklingstrekkenes virkning for transportetterspørselen, bør det fremheves at en del av disse utviklingstrekkenes påvirkning på analysene også henger sammen med de samfunnsøkonomiske vurderinger av investeringer og andre tiltak. Her er transportmodellenes framskrivning av etterspørselen med og uten tiltaket en del av grunnlaget, men utviklingstrekkene vil også påvirke andre deler. Det gjelder for eksempel verdsetting av ulykkeskostnader og miljøkonsekvenser og investeringskostnader til infrastrukturbygging, som alle kan påvirkes av noen av trendene. Transportmodellene kan først og fremst brukes til å estimere framtidig etterspørsel, inkludert geografisk fordeling og fordeling på transportformer, og ikke minst endringer i transportetterspørselen (bare persontransportmodellene) samt rute- og transportmiddelvalg som følge av tiltak som forbedrer transporttilbudet eller regulering som øker kostnader eller tidsbruk.

2.6.1 Økt vektlegging av militære behov

I NTP 2025-2036 står det at «I planperioden vil regjeringen ta hensyn til samfunnssikkerhet, herunder militær mobilitet, i vurderingen av tiltak» (s. 9). Det nevnes f.eks. tilskudd til fylkeskommunene for opprusting av kritiske bruer for militær mobilitet. Det påpekes også at regjeringen vil «etablere et tydeligere rammeverk for samhandling mellom transport- og forsvarssektoren for å sikre effektiv kartlegging og prioritering av militære behov innenfor rammen av totalforsvaret» (s. 60).

For at analyser som gjennomføres for NTP skal sikre økt vektlegging av militære behov trengs først «effektiv kartlegging og prioritering av militære behov». Det påpekes at det må planlegges for «økt militært nærvær i norsk og tiliggende farvann, og for økt militær øvingsaktivitet og transportering av allierte styrker i fredstid. Flere tiltak i kategorien *mindre investeringer* vil være begrunnet med «militære behov».

Etter vårt skjønn vil ikke økt vektlegging av militære behov i transportplanleggingen kreve vesentlig endringer i metoderammeverket som brukes til framskrivninger (eller andre scenarier i fredstid). Selv om ikke satsingen på forsvaret nødvendigvis vil innebære radikalt endret *volum* på transporttetterørselen, vil den geografiske fordelingen påvirkes. Dette burde tas inn i fremtidige framskrivninger. Analyser som kan gjøres med transportmodellene som kan være nyttige i lys av militære behov, er for eksempel:

- Alternative ruter når deler av infrastrukturen settes ut av spill: Det vil være nyttig med analyser av scenarier hvor en veilenke, en havn eller jernbanestrekning skades, enten av naturhendelser eller av fiendtlige aktører. Her kan nettverksmodeller som RTM og NGM brukes til analyser av alternative ruter og identifisere behov for økt kapasitet for å imøtekomme omdirigert militær mobilitet.
- Transportsystemets resiliens ved disrupsjon i energisystemet: Dersom fiendtlige aktører skulle, gjennom militære eller hybridangrep på energiinfrastruktur i Norge eller hos handelspartnere, redusere tilgjengeligheten på elektrisitet og/eller fossilt drivstoff, vil myndighetene prioritere energi til kritiske funksjoner og prisene vil øke for resten av befolkningen. Ved en gitt sannsynlighet for et slikt scenario vil det være hensiktsmessig at strategier også inneholder planer for et mindre energiavhengig transportsystem. Et operasjonaliserbart kvantitativt mål vil da være en reduksjon i energi (Megajoule) brukt til transport (til sivile formål). Dette sammenfaller i noen grad med både klimamål og arealbruk som følger av klimamål. Analyser av total energibruk kan gjøres ved hjelp av RTM, NTM6 og NGM **på relativt kort sikt**. Man kan imidlertid se for seg at husholdningene tilpasser seg til å bo mer tettbygd og energieffektivt, noe som vil innebære mer sykling, gange og mikromobilitet. Dagens transportmodeller beregner effekten av en gitt endring av arealbruk, men kan i seg selv ikke beregne den nye arealbruken. Det vil i så fall kreve utvikling **på lengre sikt**.
- Militærstrategiske hensyn kan også tilsi at man ønsker å opprettholde eller øke befolkningen i visse fjerntliggende områder. Det kan føre til noen endringer i geografisk fordeling i befolkningsframskrivingene. Samlet sett vil endringene i befolkning og transporttetterørsel antakelig ikke være veldig store, men i de pågjeldende områder med spredt befolkning kan endringen bli relativt stor.
- Økt effektivitet i militærindustrielle varestrømmer: Med økt militærindustriell produksjon og samhandling i Norge (og Norden) vil også frakten av innsatsfaktorer og militære varer øke i både volum og verdi. Analyser med NGM vil kunne brukes til å identifisere grep som øker effektiviteten av den militærindustrielle godstransporten. Det vil imidlertid kreve mer data på militærindustrielle varestrømmer, som av sikkerhetsmessige hensyn vil være krevende å benytte.

2.6.2 Klimaendringer og klimatilpasning av infrastruktur

Klimaendringene vil antakelig føre til tekniske endringer av transportinfrastrukturens utforming framover for å imøtegå mere ekstreme værforhold. Det gjelder både nye prosjekter og ved renovering eller

oppgradering på eksisterende strekninger. Dette vil ikke i seg påvirke etterspørselen, hvis effektene av de endrede værforhold imøtegås, bort sett fra hvis reisetider og kostnader endres. Men dette håndteres på vanlig måte i modellene, som bruker disse spesifikasjoner fra prosjektbeskrivelsene som inndata.

Omvendt kan man si at i det omfang ekstreme værforhold som følge klimaendringene blir hyppigere vil det påvirke det servicenivå som eksisterende infrastruktur tilbyr. Flere skybrudd, store snømengder, økt rasfare og flom kan gi hastighetsreduksjoner og påvirke oppetiden av vei- og banenettet generelt og fjelloverganger i særdeleshet og begge deler vil også påvirke regulariteten av kollektivtrafikken og flyavganger i de som regel kortere periodene hvor de ekstreme værforhold forekommer.

2.6.3 Sterkere vekt på å unngå tap av natur

Når det gjelder å unngå tap av natur er det ikke per i dag klart definert hva dette innebærer. Et mulig utgangspunkt er begrepet arealnøytralitet, som handler om at vi skal begrense nedbygging og i tillegg restaurere natur slik at vi i sum ikke bygger ned mer natur. Dette vil ha implikasjoner både for arealbruk til transportinfrastruktur og lokalisering av boliger og næringsvirksomhet, som igjen påvirker transportetterspørselen. Utviklingstrekket vil i denne forståelse likne på en politisk rammebetingelse for utviklingen, hvor måloppnåelsen kan analyseres med backcasting og resultatene deretter legges inn i modellframskrivinger.

Transportinfrastruktur beslaglegger mye areal i seg selv, samtidig som infrastrukturen skal betjene husholdninger og virksomheter, som også beslaglegger mye areal. Bebygd areal utgjør i dag 1,7 % av Norges samlede areal, hvorav transport- og annen infrastruktur står for knapt 40 %.

Ved overholdelse av forpliktelsen om å verne 30 prosent av all natur på land innen 2030, samt 30 prosent av hav, innsjøer og elver, vil det være restriksjoner på hvor veksten i befolkning og næringsvirksomhet kan finne sted. For en gitt befolkning og næringsvirksomhet vil mer konsentrert bebyggelse innebære et lavere arealbeslag fra bebyggelse, og samtidig mindre arealbeslag fra transportinfrastruktur. For at dette skal kunne operasjonaliseres som et mål som man kan utvikle strategier for, samt implementeres i et måloppnåelsesscenario, vil det være hensiktsmessig med følgende:

- En **større analyse** av hvilke områder som er anbefalt vernet for å overholde naturvernmålet, og hvilke implikasjoner dette vil ha for hvor bebyggelse av boliger og virksomheter kan komme i framtiden. Sammenlignet med standard framskrivinger vil dette sannsynligvis innebære mer konsentrert bebyggelse. Å komme fram til en framtidig arealbruk som sammenfaller med naturvernmålet, kan ses som en backcastingsprosess i seg selv. Her kan [Arealdataverktøyet](#) (ADV)(Kommunal- og distriktsdepartementet, 2022) være aktuelt å bruke. Når et (eller flere) forslag til målkonsistent arealbruk er på plass, kan dette operasjonaliseres ved at SSBs befolkningsframskrivinger på kommunenivå fordeles på grunnkretser på en måte som sammenfaller med bebyggelse i tråd med naturvernmålet. Da vil man unngå å fremskrive en vekst i transportetterspørsel i områder som i et måloppnåelsesscenario ville vært begrenset pga. naturvern.
- **På kort sikt** kunne man endret fordelingsnøkklene for befolkningsframskrivinger på kommunenivå som fordeles på grunnkretsensnivå i modellkjøringen. Fordelingsnøkklene kan f.eks. endres slik at befolkningsveksten uproporsjonalt fordeler seg slik at grunnkretsene med høyest befolkningstetthet får høyest vekst (og kommuner med befolkningsnedgang vil få uproporsjonalt stor nedgang i grunnkretser med lav befolkningstetthet). I tillegg til å la fordelingsnøkklene være styrt av tetthet, kan man også vurdere å la grunnkretser som inneholder (eller ligger nær) knutepunkt i kollektivtrafikken ta unna mye av veksten, da det normalt vil bidra til økt bruk av kollektivtransport og redusert behov for veitransport/veiutbygging. Ved vurdering av fordelingsnøkler for befolkningsveksten kan muligens ADV-verktøyet være til hjelp, f.eks. for å unngå at man forutsetter ytterligere fortetting i en grunnkrets som allerede er «ferdig fortettet», dvs. uten muligheter for ytterligere befolkningsvekst.

Øvrige analyseaspekter man kan implementere er redusert gjennomførbarhet for utbygging av veier med de høyeste fartsgrensene, da disse beslaglegger mest areal per veikilometer. Dette er anbefalt av Klimautvalget 2050 (s. 164), som også påpeker at lavere hastigheter medfører lavere energibruk per kjøretøykilometer (som sammenfaller med klimamålet). I nyttekostnadsanalyser kan arealbeslag tillegges en ekstrakostnad som kan forstås som en skyggepris på naturvernmålet, med et beløp som ville tilsvart en samfunnsøkonomisk effektiv arealavgift eller en kvotepris i et omsettelig arealkvotemarked.

2.6.4 Mer elektrifisering

Omfattende elektrifisering av landtransporten blir en avgjørende del av strategien for å nå de langsiktige klimamål om 90-95% reduksjon sammenliknet med 1990. Mesteparten av **buss- og togtrafikken** er allerede elektrifisert eller blir det i løpet av de nærmeste årene, og det vil ikke gi bidra til noen utfordringer i forhold til eksisterende framskrivinger.

Personbilene er også langt på vei i samme retning og EUs vedtatte utslippsstandarder betyr i praksis stopp for salg av fossile person- og varebiler senest fra 2035 og dermed stort sett total utfasing i bilflåten i 2050. Skjerpet norsk klimapolitikk har bare begrenset mulighet for å forsere denne utviklingen i Norge, for eksempel gjennom insentiver til raskere utskifting av bilflåten.

Andelen elbiler kan påvirke transporttetterpørselen på to måter:

- Gjennom kortere rekkevidde, som kan gi ulemper ved, og dermed redusere etterspørselen etter, lange reiser. Rekkeviddeulempen avtar antakelig over tid som følge av lengre rekkevidde og mer utbredt ladeinfrastruktur, hvor ladetiden også vil gå ned. Konsekvensene av ventetider for lading underveis på lange reiser i toppbelastningsperioder, kan være et element som bør tas inn i framskrivingsmetodene, ikke minst for å vurdere behovet for kapasitetsutbygging i de kommende årene.
- Gjennom endret kostnadsstruktur. Med dagens bompengetakster og forbrukerpriser på el og fossilt drivstoff, er den direkte kostnaden per kilometer vesentlig lavere for elbiler enn for bensin- og dieslbiler, og det samme forventes å være tilfellet for vedlikeholdskostnaden i fremtiden. Vi observerer allerede i dag at elbileiere kjører lengre sammenliknet med de som har andre biler. Økt elbilandel framover må derfor, med nåværende avgifter, forventes å føre til mer bilkjøring.

Disse faktorene vil kunne påvirkes av ambisjonsnivået for utbygging av ladeinfrastruktur og endringer i takst- og avgiftspolitikken. Begge deler blir det bare delvis tatt høyde for i dagens framskrivinger av transporttetterpørselen.

For tunge kjøretøy vil EUs utslippskrav også ha avgjørende betydning på lang sikt, hvor nye kjøretøyer skal redusere CO₂-utslippet med 90% i 2040 sammenliknet med 2021-nivå. Da lastebiler har kortere levetid enn person- og varebiler, vil det bety en tilnærmet tilsvarende markant reduksjon i utslipp allerede i 2050. Påvirkning av godstransporttetterpørselen skjer gjennom høyere pris kjøretøykilometer, og i tillegg i mindre grad gjennom noe lavere lasteevne som følge av et flere tonn tungt batteri i stedet for drivstofftank.

For framskriving av **luftfarten** kan potensialet for elektrifisering være en særlig kompleksitet, fordi en rekke produsenter i dag utvikler små elektriske fly der en forventer operasjonell drift i løpet av det neste tiåret. Norge vurderes å være et av de landene som ligger best an når det gjelder å utnytte det mulige potensialet for disse flyene, på grunn av de geografiske forhold med fjell og fjorder og spredt befolkning i deler av landet, noe som gjør bakkeinfrastruktur kostbart. Små fly kan dra fordel av at vi har et bra utbygd eksisterende nettverk av mindre flyplasser. Hvis dette potensialet blir realisert, må det forventes å påvirke transporttetterpørselen utover det som fanges opp av endrede billettpriser og reisetider, da disse flytypene vil ha helt andre egenskaper enn de eksisterende større fly.

2.6.5 Økt bruk av og endret tilgjengelighet til bærekraftig drivstoff

Energien til bærekraftig drivstoff kan enten komme fra biomasse eller hydrogen fra vann, som spaltes med elektrisitet basert på fornybar energi, eventuelt i kombinasjon med CO₂-fangst (CCU) for å få flyten- de drivstoff, ofte kalt e-drivstoff. Biodrivstoff og især e-drivstoff er flere ganger dyrere enn fossilt driv- stoff å produsere, og forventes også å være det i fremtiden. Biomasse forventes å bli en svært knapp faktor, som verden ønsker å anvende i mange sammenhenger til erstatning for olje og andre fossile energikilder. Markedskreftene vil sørge for at denne knappheten vil slå ut i høyere priser. En bærekraftig klimastrategi betyr derfor at vi i transportsektoren først og fremst må elektrifisere der vi kan gjøre det med rimelige kostnader, og substituere fossilt drivstoff med bærekraftig drivstoff der elektrifisering er vanskelig eller tar for lang tid, fordi flåten av transportmidler med forbrenningsmotor må skiftes ut og har lang levetid. For tunge kjøretøy på vei blir bærekraftig drivstoff antakelig en overgangsløsning, kan- skje med unntak av de lengste og tyngste turene. Fly og skip er derfor de transportformene hvor behov- et for bærekraftig drivstoff er størst på lengre sikt, og også her vil de kortere distanser muligvis kunne dekkes av elektrifisering når vi kommer et stykke inn i framtiden.

Økt bruk av bærekraftig drivstoff kan komme inn på to måter, enten ved tilstrekkelig høye avgifter (eller kvotepris) på fossilt drivstoff, eller ved økt innblanding av bærekraftig drivstoff, opptil 100%, gjennom høyere lovfestet omsetningskrav. I begge tilfeller vil virkningen på transporttetter spørsmålet stort sett bare skje via markedsprisen på drivstoff, da det ikke er betydelige ulemper ved å bruke bærekraftig driv- stoff som direkte erstatter for bensin eller dieselolje. For luftfart og sjøfart kan hydrogen, metanol eller ammoniakk bli de billigste drivstoffløsningene som direkte kan erstatte diesel. Det krever større og dyr- ere tankkapasitet, som også kan gi noe kostnadsøkning på fartøy, men samlet lavere kostnader på grunn av besparelse på drivstoffet.

2.6.6 Innfasing av ny teknologi (inkludert nye mobilitetsløsninger)

Teknologitrender og nye mobilitetsløsninger er i de senere år analysert intensivt i mange rapporter både i Norge og internasjonalt. Årsaken til dette er trolig en generell oppfatning av at både forandringshastig- heten og mengden av markante endringer de siste årene har vært vesentlig høyere enn tidligere. Med de mange forskjellige teknologiske trender gir det ikke mening å behandle alle de teknologiske utviklingstrekk under ett.

Persontransport

Til tross for at det er krevende, forsøker Kristensen (2023) å vurdere størrelsesordenen av nye teknolo- giers effekt på persontransporttetter spørsmålet på lengre, sikt med fokus på følgende tre hovedtrender (med vesentligste under-trender i parentes):

- **Automatisering** (robotaxies, førerløse privatbiler og kollektiv transport)
- **Konnektivitet** ('internet of Things', deling av realtids-data, avansert trafikkstyring) i realtid
- **Delingsmobilitet** (dele-biler, bestillingstransport og mikromobilitetskonsepter)

Oppdelingen er i hovedtrekk sammenfallende med Teknologitvalgets rapport *Teknologi for bærekraftig bevegelsesfrihet og mobilitet* (elektrifisering er her behandlet separat i avsnitt 2.5.4 ovenfor). Vurdering- ene ble (uten bruk av modellberegninger) foretatt separat for de store byområdene og utenfor byområ- dene og oppdelt på personbil, kollektiv transport og fly. Trendene konnektivitet og delingsmobilitet ble vurdert å få begrenset innvirkning på samlet transporttetter spørsmål, mens automatisering potensielt vil bety store endringer med betydelig økning for personbil, som vil få økt konkurransefordel i forhold til kollektivtrafikken. Denne konklusjonen bekreftes i Handberg et al (2024).

For de enkelte teknologitrendene er det rimelig konsensus om den *kvalitative* beskrivelsen av hvilke for- deler og ulemper som de kan forventes å gi. Den store utfordringen er å kvantifisere effektene på trans- porttetter spørsmålet og å verdsette fordelene og ulempene for trafikantene og for samfunnet som helhet. For det første er det veldig usikkert hvilke av teknologiene som er under utvikling som vil få gjennomslag

i praksis og hvor raskt det vil skje. For det andre vil det for noen av teknologiene være tale om så radikale forandringer av transportmidlene og på måten vi vil bruke dem på, at det gir mer mening å snakke om helt nye mobilitetsløsninger. Det kan være 'robotaxis', selvkjørende private biler, bestillingstransport som del av kollektiv transport, delte mikromobilitetsløsninger og elsykler.

Innfasing av **nye mobilitetsløsninger** er en av de vanskeligste trendene å håndtere ved framskriving av persontransportetterspørselen. For nye mobilitetsløsninger, som ikke tilbys i dag, under utvikling er det per definisjon ikke mulig å ta fram empirisk evidens for effektene. En enkel håndtering i transportmodellene, ved justering av parameterne for reisetid og kostnader for eksisterende transportformer, vil antakelig ikke gi et riktig bilde av de endringer som tilgjengeligheten til for eksempel 'robotaxier' og ikke minst førerløse private biler gir. Elektrifisering og bruk av bærekraftige drivstoff kan også betraktes som innfasing av ny teknologi, men disse behandles separat nedenfor.

Kunstig intelligens (KI) har potensialet til å drastisk endre arbeidsmarkedet ved å automatisere rutineoppgaver og dermed redusere behovet for menneskelig arbeidskraft i visse sektorer. Dette kan føre til et skifte i jobbtyster, der etterspørselen etter høyt spesialiserte teknologijobber øker, mens tradisjonelle yrker kan forsvinne eller endres betydelig. Som følge av dette kan behovet for arbeidsreiser og mobilitet endres, ettersom fjernarbeid og automatiserte tjenester blir mer utbredt, noe som kan påvirke samfunnets daglige rutiner. Omfang og tidsperspektivet er svært usikkert, men en del scenarier skisserer en veldig rask utvikling innenfor KI. Aschenbrenner (2024) beskriver et scenario med en «intelligenseksplasjon» som oppstår når man kan automatisere selve KI-forskningen og man samtidig finner løsninger for mulige flaskehalser som data, KI-spesifikk maskinvare og energi. Analysen til Aschenbrenner, som baserer seg på en videreføring av trenden innen KI mellom 2018 (GPT-2) og 2023 (GPT-4), peker på 2028 som et mulig år hvor dette kan inntreffe. Hvordan en «intelligenseksplasjon» vil påvirke arbeidsmarkedet vil trolig variere fra land til land. Norge, med sine tradisjonelt sterke fagforeninger og statlige handlekraft, kan være godt rustet for de endringene som vil komme.

Godstransport

Teknologiutvikling, automatisering og nye transportformer vil også påvirke transportkostnader og konkurranseflatene mellom transportformer for godstransport. Automatisering har gjort sitt inntog i lukkede terminalområder som havner, i form av remote styring av kraner og førerløse trekkvogner, og de første autonome skipene er også i drift på korte strekninger over Oslofjorden og i Porsgrunn. Økt automatisering vil redusere kostnader og kan på sikt revolusjonere konkurranseforholdet mellom transportformene. For veitransport går utviklingen i bruk av lengre og tyngre kjøretøy, med uttesting av 74-tonn tunge tømmervogntog i Norge. Bruk av enda tyngre kjøretøy som vi nå ser i Sverige og Finland vil også øke presset på at dette tillates i Norge. Droner kan bli en leveringsløsning for mindre sendingsstørrelser. Det kan også oppstå nye transportformer som ikke er kjent i dag.

Innfasing av ny teknologi vil som nevnt under persontransport i like høy grad skje i andre sektors om del av svaret på klimautfordringen. Det vil antakelig gi vesentlig tilbakespill på transportetterspørsel ut over, de teknologiske endringer som påvirker transportkostnadene og konkurranseforholdet mellom de ulike transportformene. Av spesifikk relevans for godstransporten kan næringslivets sammensetning endres markant, også som følge av nye teknologier relatert til [det grønne skiftet](#). Regjeringen har gjennom initiativene [Hele Norge eksporterer](#) og [Grønt industriløft](#) utpekt syv satsningsområder² for omstilling av industrien som følge av utfasing av petroleumssektoren. Granavolden-plattformen satte som mål at Norge skal være foregangsland for en grønn, sirkulær økonomi som utnytter ressursene bedre. For å følge opp dette, publiserte Solberg-Regjeringen [Nasjonal strategi for en grønn, sirkulær økonomi](#), som

² Dette er havvind, batterier, hydrogen, CO₂-håndtering, prosessindustri, maritim industri og skog- og trenæring og øvrig bioøkonomi.

følger opp målene i EUs *Green Deal*. Også i denne handlingsplanen har Regjeringen pekt ut syv³ prioriterte verdikjeder i overgangen til en sirkulær økonomi. Transport tilknyttet karbonfangst og lagring, utbygging av fornybar energiproduksjon, produksjon av batterier og komponenter til fartøy og kjøretøy med nullutslippsteknologi, produksjon og distribusjon av nye typer av drivstoff, og overgang til sirkulære verdikjeder, er alle eksempler på at transportmønstre vil bli endret som følge av overgangen til lavutslippssamfunnet.

2.7 Konstruksjon av relevante og tilstrekkelige scenarier

Som påpekt i Innledningen i denne rapporten så bruker vi begrepet scenarier *først og fremst* for å beskrive ulike framtider med ulike megatrender og teknologiske- og samfunnsmessige transformasjoner. I det perspektivet skal grunnlaget for scenariene være *deskriptive og ikke normative* (så langt det lar seg gjøre). Man kan se på scenariene som eksogene utviklingsbaner. Norge og verden kan befinne seg i vidt forskjellige scenarier mellom 2024 og 2050. Derfor er det ønskelig å kunne legge strategier for måloppnåelse under ulike eksogene utviklingsbaner. Det kan bidra til kartlegging av hvilke usikkerheter i antakelsene som er vesentlige for valg av strategi. De samme scenariene bør brukes på tvers av transportvirksomhetene for å sikre konsistens i planleggingen.

Samtidig har avsnitt 2.2 også beskrevet hvordan det kan være en svakhet ved modellene hvis vi bare drar inn framskriving av rent eksogene variable, og antar at alle normative faktorer er uendrede gjennom en antakelse om “frozen policy”. Måloppnåelsesscenarier som forutsetter ytterligere politiske beslutninger for å bli realiserte, kan gi en mer realistisk framskriving av sentrale faktorer for transportetterspørselen, og dermed gi et bedre eller supplerende grunnlag for de samfunnsøkonomiske vurderingene som benyttes i prioriteringene i NTP.

For noen av de seks aktuelle utviklingstrekk som er analysert i avsnitt 2.5, vil innvirkningen på framtidig utvikling hovedsakelig skje gjennom politiske tiltak som enda ikke er vedtatt i tilstrekkelig konkretisert form. Det gjelder først og fremst økt vektlegging av militære behov og sterkere vekt på å unngå tap av natur. Men innfasingshastigheten av elektrifisering og bærekraftig drivstoff vil også avhenge av rammebetingelser i form av for eksempel avgifter og prosentsatser for omsetningskrav, som løpende fastsettes politisk og kan ses som sentrale deler av de strategiene som er annonsert for oppnåelse av klima- og miljømålene og nullvekstmålene.

Vi ser klare metodiske fordeler ved å konstruere scenariene som en kombinasjon av fortellinger og input-datasett som kan brukes i analyser. Disse to fremgangsmåtene utfyller hverandre og gir en bedre innsikt hos beslutningstakerne i hva som legges til grunn i beregninger for de ulike scenariene:

- Det hjelper **identifiseringen av viktige eksogene variable** og hvordan deres parameterverdier bør justeres for modellanalysene: Scenariobeskrivelsene vil bli inkorporert i modellen, slik at vi får testet robustheten.
- Det **utfyller modellanalysen**: Det er mulig at noen viktige eksogene variabler ikke kan bli inkorporert i modellanalysen. Da kan scenarioanalysen gi et rikere bilde av mulige framtider som kan bli sammenlignet med modellresultatene. Dette styrker muligheten til å vurdere hvilke deler av resultatene som kan være over- eller underestimert, gitt ulike framtider.

Scenarioutviklingen bør resultere i et sett med klart forskjellige, plausible, godt forklarte framtidsscenarier i tillegg til basisscenarioet. Prinsippene for å sette sammen disse scenarioene er tatt fra van der Heijden (1996, p. 187):

³ Dette er batterier og kjøretøy, elektriske og elektroniske produkter, emballasje, tekstiler, plast, mat og næringsstoffer, bygg og byggevarer.

- Det trengs minst to scenarier for å reflektere noen form for **usikkerhet**. Å jobbe med mer enn fire scenarioer viser seg å være organisatorisk upraktisk, men dersom scenarioarbeidet inngår i et relativt kontinuerlig analysearbeid over lang tid, som NTP, kan det være hensiktsmessig med flere under-scenarier.
- Hvert scenario må være **plausibelt**. De må utfolde seg i et logisk årsaks-virkningsforhold fra fortid og nåtid til framtiden.
- De må være **internt konsistente**. Det betyr at hendelsene innad i scenarioet må holde seg innenfor årsaks-virkningslogikken.

Det kan med fordel dras inspirasjon av det internasjonale klimaforskningsmiljøets bruk av standardiserte scenarier i modelleringen. Dette har vært med på å både effektivisere og heve kvaliteten på analysene gjort med 'Integrated Assessment Models' på ulike typer klimapolitikk eller andre fremtidige utviklinger. Vi beskriver det nærmere i boksen under.

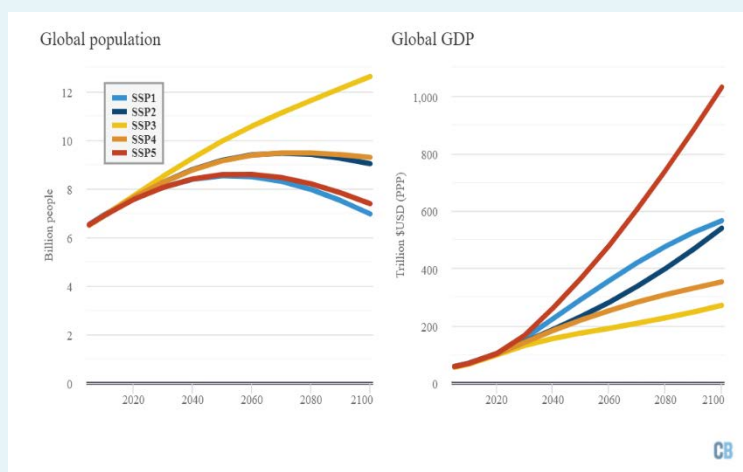
Boks 2 Eksempler på scenario-metodikk fra den internasjonale klimavitenskapen

For å sørge for at klimamodelleringsmiljøer på verdensbasis bruker samme referansebaner slik at analysene kan sammenlignes, er det utviklet fem såkalte Shared Socioeconomic Pathways (SSPs). Hver SSP har sin *internt konsistente fortelling* om hvordan verden vil utvikle seg, dokumentert i Riahi et al. (2017). En oppsummering av disse fortellingene gis i Tabell 2.2.

Tabell 2.2: Kort beskrivelse av de fem Shared Socioeconomic Pathways (SSP).

SSP1	Sustainability – Taking the Green Road: Low challenges to mitigation and adaptation. Denne referansebanen preges av et hurtig demografisk skifte, internasjonalt samarbeid på globale fellesgoder og utviklingsmål og stødig framskritt på overholdelse av miljømål.
SSP2	Middle of the Road: Medium challenges to mitigation and adaptation. I stor grad videreføring av sosiale, økonomiske og teknologiske trender vi har sett historisk.
SSP3	Regional Rivalry – A Rocky Road: High challenges to mitigation and adaptation. Denne referansebanen preges av økt nasjonalisme, regionale konflikter og økt fokus på nasjonale (eller regionale) sikkerhetsproblemer, inkludert mat- og energiforsyning. Dette går på bekostning av oppnåelse av utviklingsmål og miljøpolitikk.
SSP4	Inequality – A Road Divided (Low challenges to mitigation, high challenges to adaptation). Ujevne investeringer i humankapital, både innad i og på tvers av land, fører til et økt gap (og mindre samhold) mellom rike kunnskaps- og kapitalintensive områder og fattige områder preget av lavteknologiske jobber. Miljøpolitikk konsentreres i mellom- og høyinntektsområder.
SSP5	Fossil-fueled Development – Taking the Highway: High challenges to mitigation, low challenges to adaptation. Referansebanen preges av høy innovasjonstakt, konkurranseutsatte markeder, økonomisk vekst og utvikling, men ved fortsatt høy bruk av fossile energikilder.

Scenarioene skiller seg fra hverandre med egne referansebaner for befolkningsvekst, økonomisk vekst, teknologiutvikling, livsstilpreferanser, utvikling i sosiale kår, ulikhet m.m. (se figuren under). Forutsetningene, ofte brutt ned på landnivå, er dokumentert i [Shared Socioeconomic Pathways Scenario Database](#).



Ulik utvikling i ulike scenarioer (SSPer). Global befolkning (venstre) i milliarder og globalt bruttonasjonalprodukt (høyre) i billioner USD på kjøpekraftsparitetsbasis (PPP). Tall fra Hausfather (2018)

SSPene kan gi inspirasjon til konkretiseringer og tilpasninger, som er relevant for den norske samferdselssektoren (bl.a. knyttet til teknologiutvikling). Ikke bare er disse scenarioene grundig gjennomarbeidet, de er også anvendt av et stort, verdensomspennende klimamodelleringsmiljø som gjør analyser som både publiseres i fagfelleverderte tidsskrifter og fungerer som underlagsmateriale av det Internasjonale Klimapanelet (IPCC). Slik tilpasning av allerede konstruerte scenarier til eget lands transportsektor er eksempelvis gjort i Nederland. Asgarpour m.fl. (2023) tok utgangspunkt i fire av disse SSPene. Disse scenarioene ble så tilpasset for å gi kvantitative inputs for driverne som ble studert for etterspørsel etter person- og godstransport (spesielt sosioøkonomiske variabler, verdenshandel og drivstoffpriser). Til sammen representerte scenarioene fire fremtider: En grønn revolusjon, «missed-boat», en «safety revolution» og «infraconomy». Et lignende opplegg kan være nyttig i norsk NTP-sammenheng⁴. Disse, og flere backcastingsøvelser er nærmere diskutert i Pinchasik (2024).

2.8 Scenarier som alternative etterspørselsframskrivninger til bruk for samfunnsøkonomiske prosjektvurderinger

Som det framgår av gjennomgangen i dette kapitlet har scenariometodikk mange anvendelses muligheter. I relasjon til de nasjonale transportplaner spiller scenariEFRamskrivninger av transporttetterpørselen en viktig rolle i beslutningsgrunnlaget for prioriteringen av store infrastrukturprosjekter. Her beregnes fordeler og ulemper ved et gitt prosjekt eller en portefølje av prosjekter ved å sammenligne prosjektsce- nariet med et basisscenario, hvor alle andre forutsetninger enn nettopp disse prosjektene er de samme. Til dette formålet beregnes et referansescenario for samfunnsutviklingen, som anvendes som basissce- nario i alle prosjektvurderinger for å oppnå konsistent sammenlikning av resultatene på tvers av pro- sjektene. Kapitlet redegjør for en rekke av svakheter med referanseframskrivningen i form av sikkerhet, utelatte faktorer og muligheten konflikt med sentrale transportpolitiske mål som følge av politiske tiltak som enda ikke er vedtatt og derfor ikke inngår. I forbindelse med arbeidet med gjeldende NTP har man i tillegg til referansebanen også brukt alternative utviklingsbaner for å kunne teste av hvor stor innflytelse disse svakheter har på beslutningsgrunnlaget (Kristensen, 2023 og Madslien et al, 2022).

I praksis kan man bare håndtere et mindre antall faktorer og prioritere de, som har vesentlig innflytelse på transporttetterpørselen og dens fordeling geografisk og transportformer. Både av hensyn til over- skuelighet og regnekapasitet er det også nødvendig å slå flere faktorer sammen i noen ganske få alter- native scenarier til referansebanen. (Kristensen, 2023) Avsnitt 1.2 argumenterer, at for å gi tolkbare resultater må usikre faktorer i samme scenarier:

- Ikke trekke i motsatt retning på transporttetterpørselen,
- ikke ha betydelig negativt korrelerte sannsynlighetsfordelinger

Mange tidligere analyser har konkludert at befolkningsutvikling, økonomisk vekst og endrede transport- kostnader er tre av de generelle usikkerhetsfaktorer som har stor påvirkning av samlet transporttetter- spørsel. Videre bør hastigheten på urbaniseringstrenden nevnes, selv om bare i mindre grad påvirker samlet transporttetterpørsel og bare har stor effekt på fordelingen av etterspørselen på lengre sikt. Det skyldes at især kapasitetsutvidende eller –begrensende prosjekter eller tiltak i de store byområdene i særlig grad kan være påvirkelige av mindre som endringer i befolkningsutviklingen.

Sist, men ikke minst, har avsnittene ovenfor om backcasting vist at det kan være behov for scenarier, som stemmer over ens med sentrale transportpolitiske mål, men også at dette bare er operasjonelt for klart spesifiserte og kvantifiserte mål. Til gjengjeld er det hensiktsmessig å samle disse målene i et sam- let måloppfyllelsesscenario for å sikre konsistens, fordi det kan være tale om enten avveining mellom målene eller at sammensetningen av måloppfyllende pakke av tiltak vil være annerledes hvis flere mål skal oppnås samtidig. Her kan man repetere, at valg av strategi for måloppfyllelse kan ikke fastsettes på rent faglig grunnlag, men krever involvering fra beslutningstakere.

På bakgrunn av ovenstående anbefales at man fremadrettet opererer med tre standardiserte alternative scenarier i tillegg til referansescenariet:

⁴ Forskere fra TØI gjorde en begrenset variant av dette (2 scenarioer i tillegg til basisframskrivningen) i Arbeidsdokument 52079-2024: Trafikkprognoser for Avinor 2024-2050

R - Referansescenario	Vedtatt politikk og sentral utviklingsbane for resten.
H - Høy transportetterspørsel:	Høyere befolkningsvekst, Høyere økonomisk vekst; raskere urbanisering; Lavere transportkostnader
L - Lav etterspørsel:	Lavere befolkningsvekst, Lavere økonomisk vekst, Langsommere/Uendret urbanisering, Høyere transportkostnader
K - Kombinert måloppfyllelse	Utarbeides av transportvirksomhetene i fellesskap, Godkjennes av Samferdselsdepartementet

3 Gjennomgang og vurdering av dagens transportmodeller

3.1 Persontransportmodellene RTM og NTM6

I Fridstrøm m.fl. (TØI-rapport 1769/2020 *Transportmodeller for klimaanalyse*), skrevet på oppdrag for Teknisk beregningsutvalg for klima, ble det gjort en grundig gjennomgang bl.a. av dagens transportmodellers egnethet for beregning av utslippseffekter av ulike virkemidler. Veldig mye av teksten derfra er relevant også for vurdering av tiltak i en situasjon der modellene skal brukes i en backcastingsprosess, og vi har derfor valgt å gjenbruke deler av teksten fra den rapporten. Deler av kapittel 3.1 er en direkte gjengivelse av tekst fra TØI-rapport 1769/2020, men med enkelte justeringer, primært på områder der modellverktøyet har utviklet seg siden 2020.

3.1.1 Struktur

Etterspørselsmodellene **RTM** (Regional personTransportModell) og **NTM6** (Nasjonal personTransportModell) er praktisk talt heldekkende for den innenlandske persontransporten. De omfatter så å si alle innenriks reiserelasjoner og de fleste transportmidler, i alle fall de som fantes på estimeringstidspunktet. Av nyere transportmidler mangler eksempelvis elektriske sparkesykler og elsykler, i tillegg har man ikke med transportmidler som taxi, motorsykel/moped, snøscooter og fritidsbåt. Modellene kan beskrives som 'bottom-up'-modeller. De bygger på disaggregerte reiseatferdsdata for individer og hushold og geografisk kodede nettverk som beskriver transportinfrastrukturen og rutetilbudet i stor detalj.

Klimagassutslipp fra transport kan beregnes som funksjon av etterspørselen rettet mot de ulike reisemidlene og av reisemidlenes respektive energieffektivitet og karbonintensitet. Det er én langdistansemodell (NTM6) og fem regionale modeller (RTM) som til sammen dekker hele landet. På basis av de regionale modellene kan det dannes delområdemodeller (DOMer), der behovet for slike enten kan være fordi man trenger modeller som går på tvers at de opprinnelige regiongrensene, eller fordi man har fokus på et mindre område (typisk byområde) som man ønsker en mindre og raskere modell for. Transportmodellene gir i prinsippet resultater på nokså detaljert geografisk nivå (reisestrømmer fra grunnkrets til grunnkrets), som i mange anvendelser aggregeres opp til større enheter.

Reiseetterspørselsmodellene er simultane strukturelle modeller, basert på økonometrisk estimerte relasjoner for kvalitative konsumvalg. I slike modeller summerer valgsannsynlighetene seg til 1, dvs. at alle valg er innbyrdes avhengige. En endring i egenskapene ved ett av alternativene vil ha virkning for alle markedsandelene. Økte bompenger eller andre bilbrukskostnader vil f.eks. ikke bare føre til færre bilturer, men også til at flere går, sykler eller tar bussen.

I reisetterspørselsmodellene er det konkurranse, ikke bare mellom reisemidler, men også mellom reisemål og reiseruter. Endringer i infrastrukturen, f.eks. raskere veiforbindelser, vil kunne endre reisestrømmene mellom grunnkretser eller kommuner og dermed også endre trafikkbelastningen på de enkelte korridorer. Det samme gjelder endringer i de enkelte tettstedenes tjenestetilbud.

En tredje form for strukturell simultanitet oppstår gjennom endringer i framkommeligheten. Økt belastning på en veilenke vil slå ut i økt reisetid, noe som i sin tur vil virke tilbake på valgene av reiserute, reisemiddel og reisemål, og i siste instans også påvirke reisehyppigheten.

3.1.2 Aktører

Aktørene i persontransportmodellene er først og fremst *individer*⁵ og *hushold*, som tar beslutninger om bilhold, førerkortinnehav og reiseatferd. Aktørene er *heterogene* både i kraft av sine individuelle egenskaper (kjønn, alder, husholdsstørrelse og -type, utdanning, sysselsetting, m.fl.) og fordi de opptrer i ulike sosiogeografiske kontekster. Via opplysninger om bosted og aktuelle reisemål inneholder modellene også data om hvilket kollektivtilbud innbyggerne i de ulike soner står overfor til ulike destinasjoner, samt om bompengoordninger og fergetakster i og rundt de enkelte soner. På mer overordnet nivå påvirker *offentlige etater* og *private foretak* reisemønstrene gjennom endringer i infrastrukturen, tjenestetilbudet, prissettingen eller skattleggingen. Endringer i folketall og inntekt og i lokaliseringen og reguleringen av næringsvirksomhet, utdanning og andre offentlige etater spiller også inn.

3.1.3 Eksogene og endogene variabler

Individenes atferdsvalg er som hovedregel *endogen* bestemt i persontransportmodellene. Det gjelder i første rekke valget av reiseatferd, dvs. *reisehyppighet*, *reisemål*, *reisemiddel* og *reiserute*, m.a.o. alle fire stegene i den tradisjonelle firetrinnsmetodikken. De enkelte reisemålenes attraktivitet er betinget av indekser som oppsummerer hva som finnes i sonen, f.eks. i form av arbeidsplasser innenfor ulike sektorer, ulike typer areal i grunnkretsen (f.eks. idrettsanlegg), antall hoteller og hytter mv. Det gjelder også arbeidsreisene. Til en viss grad kan en derfor si at det enkelte individs *valg av arbeidsplass* er *endogen* bestemt, men i makro er tallet på arbeidsplasser i de enkelte grunnkretser *eksogen* gitt. Etterspørseffekter, gitt *pris-* og *reisetidsendringer*, beregnes endogen i RTM og NTM6.

Lokalisering og *arealbruk* er eksogene størrelser, som i prinsippet kan endres gjennom manuelle justeringer av inndata til modellen, eller gjennom arealbruksverktøyet (ADV RTM) som er utviklet i regi av Kommunal- og distriktsdepartementet, KS, Miljødirektoratet, Statens vegvesen og Jernbanedirektoratet (Kommunal- og distriktsdepartementet, 2022). Det betyr at endringer i lokalisering og arealbruk ikke er en del av etterspørselsvirkningene som blir beregnet i modellen, men er eksogene størrelser som evt. må tas inn fra andre verktøy. Hvis slike endringer legges inn vil modellene respondere på dem.

Valget av reisemiddel i RTM/NTM6 er betinget av førerkortinnehav og biltilgang og av kollektivtilbudets kvalitet, og selvsagt også av avstand og reisetid med bil, sykkel eller gange. Aller viktigst blant de *eksogene* variable er således de ulike *transportnettverkens egenskaper*. Ved å gjøre endringer i disse nettverkene kan modellbrukeren simulere effektene av f.eks. nye veier, kollektivruter og flyruter eller av endrede ferge-, bompeng- og kollektivtakster. Også *kostnadene* ved transport er viktig, og ved å gjøre endringer i de generaliserte kostnadsfunksjonene kan en simulere effektene av dyrere eller billigere drivstoff eller andre reiseutgiftselementer. Også effekten av ulike former for veipricing kan simuleres i modellen, der pris per kilometer kjørt f.eks. kan være differensiert etter geografi (lenke- eller sonebasert), etter tid på døgnet eller etter type bil. I forbindelse med et arbeid for Skatteetaten og Statens vegvesen (TØI-rapport 1921/2022: *Konseptvalgutredning veibruksavgift og bompenger, vedlegg 6-3 Transportmodellberegninger*) ble dagens modellverktøy, med visse tilpasninger, brukt til å studere relativt avanserte kombinasjoner av veipricing og bompengesystemer.

Førerkortinnehav og *bilhold* på sonenivå blir *endogen* bestemt i bilholds- og førerkortmodeller og vil variere ut fra demografi, geografi, tetthet i sonen mv. Befolkningssammensetning og privat konsum angis *eksogen*, normalt på basis av framskrivninger fra Statistisk sentralbyrå (SSB) og Finansdepartementet. Dette er input som enkelt lar seg endre i forbindelse med alternativberegninger, f.eks. følsomhetsanalyser av enkeltfaktorer eller som del av mer sammensatte scenarier.

⁵ Modellene er estimert på individnivå. I beregningene er individene aggregert til et stort antall segmenter (mer enn 800 for den mest detaljerte reisehensikten), der individer innenfor det enkelte segment (innenfor en grunnkrets) behandles likt.

3.1.4 Atferdsforutsetninger

Til grunn for atferdsrelasjonene i persontransportmodellene ligger en allmenn forutsetning om at individ og hushold maksimerer nytte i samsvar med mikroøkonomisk teori og teorien om kvalitativ valghandling. Modellene er således dypt forankret i tradisjonell samfunnsøkonomisk teori. Individet tenderer til å velge det reisemålet og det reisemidlet som gir lavest generalisert kostnad, men dette vil også avhenge av individets egne transportressurser (bl.a. biltilgang), samt hvor «attraktivt» reisemålet er ut fra ulike variabler som beskriver reisemålet. Både objektive kontantutgifter og subjektive tidskostnader og andre opplevde ulemper er av betydning når valgene gjøres. Et individ med mange attraktive reisemål og reisemidler tilgjengelig, vil reise mer, dvs. ha høyere reisehyppighet, enn et individ med de motsatte kjennetegn. Førerkortinnehav og tilgang til bil bidrar til økt reisehyppighet. Det samme gjelder lave billettpriser og godt rutetilbud i kollektivtrafikken. Reiseatferdsmodellene er estimert på grunnlag av den landsomfattende reisevaneundersøkelsen (RVU) i kombinasjon med nettverksdata om bla. reisehastigheter, rutetilbud og kostnader forbundet med disse per reisemiddel (såkalte transportkvalitetsdata, eller LoS-data (Level of Service)).

3.1.5 Handlingsalternativ

For individene og husholdene er handlingsalternativene, slik de er spesifisert i persontransportmodellene, i prinsippet vide. De kan velge å ha eller ikke å ha førerkort eller bil, de kan velge å gjøre 0, 1, 2, eller flere reiser med et bestemt formål i løpet av et gitt tidsrom, og de kan velge reisemål, reisemiddel og reiserute. Selv om førerkortinnehav og bilhold på kort sikt ofte er gitt, så vil også disse elementene i modellen variere med transporttilbudet i området, slik at f.eks. bilholdet reduseres i et område der det innføres høye bompenger. Bilholdet vil også reduseres med økende tetthet i et område, f.eks. vil man få lavt bilhold i nye utviklingsområder med høy boligtetthet, og med økende «kvalitet» på kollektivtilbud eller bedre muligheter for gang/syssel.

For myndighetene er de aktuelle handlingsalternativene primært knyttet til endringer i transportnettverkene og avgifts/prispolitikken. Det kan dreie seg om nye eller raskere veiforbindelser, endringer i tillatt hastighet på de enkelte veilenkene, endringer i avgangshyppighet, reisetid og priser for kollektivreiser og flyreiser, eller endringer i bompengetakster og bomsystemer. Ved å regulere arealbruken kan myndighetene på nasjonalt eller lokalt nivå påvirke lokaliseringen av boliger og virksomheter og slik også endre transportstrømmene. I tillegg kan myndighetene påvirke transporttetterpsørselen gjennom budsjettvedtak som endrer prisene på kjøretøy og drivstoff, eller ved å endre regelverket for inntektsskatt (påvirker husholdenes disponible inntekt).

3.1.6 Teknologi

Transporttetterpsørselsmodellene legger, kort fortalt, dagens og til en viss grad gårsdagens teknologi til grunn. Dette påvirker i første omgang muligheten til analyse av transportmåter som ikke fantes på estimeringstidspunktet. Alle motorkjøretøy antas f.eks. å ha en fører, og modellen har per i dag ikke egne kostnadsfunksjoner eller handlingsalternativ for autonome kjøretøy. Det samme gjelder ulike former for mikromobilitet som i svært begrenset grad fantes for noen år tilbake. Selv om heller ikke elbiler på estimeringstidspunktet hadde en utbredelse som tillot at disse ble behandlet særskilt i opprinnelig modell, så er det senere gjort videreutvikling slik at man i dag skiller mellom nullutslippsbiler, hybrider og biler med (kun) forbrenningsmotor i modellen. Dette er viktig for utslippsberegninger basert på modellresultatene, men også fordi det er ulike kostnader forbundet med bruken av de ulike bilene.

I forbindelse med arbeidet med NERVE (Weydahl m.fl., 2024), som er et samarbeidsprosjekt mellom TØI og NILU for Miljødirektoratet, er trafikk fra transportmodellene brukt til å beregne klimagassutslipp fra veitrafikk i alle norske kommuner. Utslipet er beregnet ved at trafikk per veilenke (fordelt på ulike trafikkategorier/køsituasjoner som gir ulikt drivstofforbruk) er multiplisert med spesifikke

utslippsfaktorer per kommune (basert på registrerte kjøretøy i kommunen, justert for trafikk utført av kjøretøy fra andre kommuner).

Buss- og fergeteknologien er også i endring, i retning av nullutslippskjøretøy og -fartøy. Dette får betydning for reiseatferden kun dersom det slår ut i billettprisene eller innebærer endring i ruteopplegget. Utslipp fra disse transportformene blir riktignok beregnet dersom en baserer seg på tilbudet som gis (busskilometer og fergekilometer) framfor å bruke beregnet transportarbeid med disse transportmidlene. En vil da kunne legge til grunn den faktiske (eller planlagte) kjøringen med de ulike drivlinjene i en utslippsberegning. I NERVE-modellen (se over) er utslipp fra busstrafikken beregnet med utgangspunkt i rutetilbudet som er kodet i modellene, ved at kjøretøykilometer for buss er multiplisert med tilhørende utslippsfaktor.

TØI/Numerika har levert et prosjektforslag til NTP-transportanalyser som vil gjøre det enklere (men ikke uproblematisk), å innføre nye og, per i dag uobserverte, reisemidler, samtidig som modellene forenkles slik at de kan kjøres vesentlig raskere enn i dag (se også avsnitt 3.3).

3.2 Vurdering av modellsystemet for persontransport

I det følgende gis en vurdering av modellsystemet for persontransport, i hovedsak hentet fra TØI-rapport [1769/2020](#) (*Transportmodeller for klimaanalyse*). Til slutt (avsnitt 3.2.5) gis en vurdering av modellenes egnethet for analyse av de syv utviklingstrekkene som er spesifikt etterspurt i dette oppdraget.

3.2.1 Rommet for virkemiddelanalyse

Persontransportmodellene RTM og NTM6 er partielle atferdsmodeller basert på disaggregerte og geografisk spesifiserte data om transportbrukere, transporttilbydere og infrastruktur. De kan brukes til å analysere et vidt spekter av virkemidler, inkludert

- infrastrukturinvesteringer
- endring i kollektivtilbudet og/eller -takstene
- endring i fergetilbudet og/eller -takstene
- endring i drivstoffpriser og -avgifter
- innføring/avvikling av bompenger, kjøprising eller veiprising
- endring i reisefradraget ved skattelikningen
- endring i energiteknologi
- endret framtidig lokalisering og arealbruk
- endring i reiseatferd (?) (krever i så fall foranalyser og testing, avhengig av hvilke atferdsendringer men ønsker å analysere)

Virkningen av *infrastrukturinvesteringer* kan belyses ved at en gjør endringer i veinettet, jernbanenettet, havner og farleder eller lufthavner. En må gjøre forutsetninger om hvordan de påtenkte infrastrukturtiltakene påvirker reisetiden med de ulike reisemidlene på de aktuelle lenkene. Modellen beregner en ny partiell likevekt, dvs. et nytt sett med reisestrømmer mellom alle par av grunnkretser. Modellen tar hensyn til konkurransen mellom reisemidler og også konkurransen mellom reisemål. Ved hjelp av gitte energiforbruks- og utslippsrater vil modellen omregne endringene i reisestrømmer til endringer i aggregert klimagassutslipp.

På tilsvarende måte kan modellene beregne etterspørsels- og klimaeffektene av nye *kollektivruter og -takster*, herunder også *fly-, ferge- og båtruter*. For å studere avgifts- eller tilskuddsendringer må en gjøre forutsetninger om hvor stor del av kostnadsendringen som overveltes i kjøpsprisen, og dessuten om hvor stor andel vedkommende innsatsfaktor utgjør av transportutøvernes driftskostnad. For såkalte

FOT-ruter⁶, som betjenes med støtte fra det offentlige, må en ta hensyn til om anbudskontrakten setter grenser for billettprisene.

Endring i *drivstoffprisene* slår ut i bilbrukernes generaliserte kilometerkostnad, og dermed i bilbruk og klimagassutslipp, men utslaget dempes av at de andre komponentene – i første rekke reisetiden – ikke endrer seg. Det samme gjelder endring i *bompengetakstene* på bestemte veilenker. Åpning av en ny, bompengebelagt veilenke vil i det typiske tilfellet gi økt kontantkostnad, men redusert tidskostnad. Modellen tar hensyn til begge deler og beregner nettoeffekten, så sant modellbrukeren implementerer endringene i nettverket.

Et hypotetisk system for *køprising* kan studeres ved hjelp av en delområdemodell for aktuell byregion, der en skiller mellom trafikkstrømmene i og utenfor rushtid. Et mer generelt system for *allmenn vei-prising* kan studeres ved at en for hver veilenke fastsetter en kilometeravgift, som kan variere med tid på døgnet, veiens beskaffenhet, bilens egenskaper og folketettheten langs veien. Modellene kan også brukes til vurderinger av andre typer tiltak rettet mot mindre klimavennlige kjøretøy, så som *lavutslipps-soner*, *differensierte bompenger*, etc.

Skatteendringer som påvirker marginalkostnaden ved å reise kan studeres ved å endre den generaliserte kilometerkostnaden for bilreiser og kollektivreiser. Det gjelder f.eks. *reisefradraget* ved skattelikningen, som har betydning for personer med lang reisevei til jobb.

Inntekts- og skatteendringer i sin alminnelighet ligger utenfor reiseetterspørselsmodellenes område, men kan illustreres gjennom eksogene endringer i input. Det samme gjelder *befolkningsendringer*.

Konsekvensene av å forplikte seg til politiske mål av typen ‘nullvekst i biltrafikken i byene’, ‘halvering av klimagassutslippene’ eller liknende kan ikke uten videre beregnes i modellene, da disse målene innebærer krav til modellenes output snarere enn input. Men det er fullt mulig å beregne et sett ulike utviklingsbaner under stadig mer skjerpet virkemiddelbruk og slik danne seg et bilde av hvor sterke virkemidler som må til for å nå målene.

Teknologiendringer på personbilsiden er håndtert ved at fordelingen på elbiler, hybrider og biler med forbrenningsmotor i hver grunnkrets legges inn eksogent i det aktuelle året som analyseres. Dette er data som hentes fra kjøretøyregisteret for dagens situasjon, og som er basert på eksogene prognoser for framtidsår. De ulike biltypene «møter» i modellen ulike kilometerkostnader og ulike direktekostnader knyttet til bom- og fergetakster (og eventuelt veiprising hvis det er aktuelt). Så lenge brukskostnadene er lavere for elbiler enn andre biler vil transportarbeidet med disse bilene relativt sett bli høyere enn andelen i bilparken skulle tilsi, spesielt vil det være tilfelle i områder der det er høye bom- og fergekostnader som er differensiert mellom drivlinjene. Ved å justere på innfasingstakten av elbiler vil en i modellsystemet kunne studere klimautslippsfølgene av økt elbilandel. I dagens modellsystem er det etablert en innfasingbane for elektriske personbiler og hybrider som på nasjonalt nivå følger Nasjonalbudsjettet 2023. Dette har Sintef bearbeidet til andeler på kommunenivå ut fra hvordan innfasingstakten var i kommunen fram til 2023. Det er fullt mulig å også differensiere elbilandelen innenfor den enkelte kommune, med ulik elbilutvikling pr grunnkrets. Dette er i noen tilfeller gjort gjennom en entropi-basert tilnærming, der fordelingen på kjøretøy per kommune fra eksogene prognoser inngår i en «balansering» sammen med dagens fordeling på kjøretøyer geografisk (pr grunnkrets) innenfor hver kommune. Balanseringen sørger for at fordelingen av kjøretøytyper etter drivlinje, på geografisk nivå innenfor hver kommune, blir konsistent med den eksterne prognosen for kommunen.

⁶ FOT= forpliktelse til offentlig tjenesteyting, eksempelvis Widerøes kortbaneruter eller Go-Aheads kontrakt på Sørlandsbanen.

3.2.2 Tidsperspektiver og typer av effekter

Reiseetterspørselsmodellene RTM og NTM6 beskriver et snevert utsnitt av individenes og husholdenes atferd, nemlig den delen som har med reiser, bilhold og førerkortinnehav å gjøre. En får fram *utreiste personkilometer* med hvert reisemiddel innenfor hvert av seks reisemål, ca. 600 husholdssegment og – i prinsippet – alle par av grunnkretser. Men resultatene på så disaggregert nivå er upålitelige. Av større betydning er at en får fram persontransportens aggregerte *klimagassutslipp*, fordelt på reisemidler. Med visse forutsetninger er det også mulig på grovt vis å beregne enkelte økonomiske størrelser, så som samlede *utlegg til drivstoff og billetter*, samlet *tidsbruk* og verdien av denne, samlede *eksterne kostnader*, mv. De *samfunnsøkonomiske kostnadene* ved en bestemt virkemiddelbruk vil som regel kunne beregnes, i alle fall ved moderate endringer, ved hjelp av trapesformelen ('rule-of-half') – som er en måte å beregne (endring i) *konsumentoverskuddet* på som svarer omtrentlig til det aktuelle arealet til venstre for etterspørselskurven. Slike beregninger er i dagens modellsystem ivarettatt ved Trafikantnyttemodulen i RTM.

Tidshorisonen for reiseetterspørselsmodellene er i prinsippet så lang som modellbrukeren ønsker, og i praksis bestemt av den eksogene inputen: befolkningsframskrivninger, makroøkonomiske perspektiver, samt nettverksdata om framtiden. Normalt gjøres modellberegningene for et utvalg framtidige år, basert på gitt eksogen input. Man vet dermed lite om årene imellom dette, og må eventuelt gjøre en form for interpolering mellom beregningsårene hvis man ønsker tall for andre år. Dersom man i en backcastingsprosess skal legge vekt på f.eks. gitte milepæler, så bør analyseårene legges opp for best mulig match mot dette.

Det er viktig å påpeke at jo lenger fram i tid man ser, jo større sannsynlighet er det for at det skjer en endring i befolkningens holdninger og preferanser som avviker fra det som ligger til grunn for den estimerte modellen. Det vil ganske sikkert også innføres nye transportmåter eller endringer i de kjente transportmåtene som vil føre til usikkerhet i resultatene. Dette er imidlertid ikke noe som er spesielt for den type transportmodeller vi her snakker om.

3.2.3 Modellenes sterke og svake sider

Persontransportortmodellene RTM og NTM6 har sin styrke i at de dekker så å si all reisevirksomhet innenriks i Norge – alle reisemidler og alle områder – og får fram konkurranseforholdet mellom reisemidler og reisemål på et fint geografisk nivå. De norske reiseetterspørselsmodellene kombinerer teorien for kvalitative valg og mikroøkonometrisk analyse med operasjonsanalytiske metoder for nettverksplanlegging. Modellene har solid teoretisk og empirisk forankring – det teoretiske fundamentet er endatil belønnet med nobelpris i økonomi.

Reiseetterspørselsmodellene er 'bottom-up'-modeller med basis i data og atferdsrelasjoner på disaggregert nivå. En del variable eller parametere som spesifiseres eksogent i tradisjonelle makromodeller, beregnes endogent i RTM og NTM6. Eksempelvis er priselastisitetene endogene – de framkommer ved gjennomregning av hele materialet og er på disaggregert nivå bestemt av husholdskjennetegn, individuelle så vel som kontekstuelle (lokalt kollektivtilbud, veinett, arbeidsplasser, mv). Priselastisitetene vil variere fra grunnkrets til grunnkrets, med særlig stor forskjell mellom tett- og spredtbygde strøk.

De forholdsvis få forsøk som er gjort for å validere modellene, dvs. å se hvor godt de 'treffer' sammenliknet den virkelige utviklingen, antyder – litt forenklet – at modellrelasjonene i seg selv har rimelig god presisjon, men virkeligheten blir likevel ofte forskjellig fra framskrivingen, fordi en bommer ved spesifisering av den eksogene inputen (priser, befolkning, sysselsetting, mv.). **Den viktigste feilkilden ved modellframskrivingene ser ut til å være at en må gjøre antakelser om den framtidige utviklingen i en rekke grunnlagsfaktorer. Disse antakelsene er nødvendigvis usikre.**

De norske reiseetterspørselsmodellene er gjenstand for stadig modifikasjon og forbedring og står neppe tilbake for planleggingsverktøyet i noe annet land. Modellene er allment tilgjengelige for enhver med tilstrekkelig kompetanse til å bruke dem.

Det bringer oss over på minussidene: Det krever betydelig spesialkompetanse å kjøre modellene, og det tar tid – både maskintid og persontid. Særlig lang beregningstid går med dersom en skal få fram og ta hensyn til rushtidsvariasjoner i reisetiden. For at dette skal fungere godt, må etterspørselen beregnes for kortere tidsperioder enn døgn, og det må gjøres flere iterasjoner mellom etterspørselsmodell og nettverksmodell (rutevalgsmodell). Dette er tidkrevende i modeller med mange soner. I forbindelse med en framskriving skal det ofte kjøres fem regionale modeller for mange beregningsår og flere scenarier, slik at en kan sammenlikne ulike typer virkemiddelbruk eller andre eksogene forutsetninger. Da tar det tid å spesifisere input til modellene, særlig hvis en vil teste ut mange forskjellige alternativ. Kjøringene må derfor planlegges godt.

Det krever en del ressurser å holde modellsystemet oppdatert og operativt. Endringer i veinettet og i annen infrastruktur må implementeres i nettverksdelen av RTM og NTM6. Det samme gjelder endringer i kollektivtilbudet, herunder også fly-, båt- og fergeruter. Nye reisevanedata må innhentes jevnlig, og reiseatferdsmodellene bør helst reestimeres med ikke altfor lange mellomrom. Dagens versjon av modellene er i hovedsak basert på reisevanedata fra 2013-14.

Persontransportmodellene er partielle og tar ikke hensyn til vekselvirkningene mellom transportmarkedet og arealmarkedet eller resten av økonomien. Når det gjelder areal, innebærer det at etterspørsels-effektene av transporttiltak ikke inkluderer eventuelle endringer i valg av lokalisering. Ved små endringer har dette liten betydning. Men ved store endringer i f.eks. infrastrukturen eller restriktive virkemidler kan tilbakevirkningene mellom transport og arealbruk være betydelige, i alle fall på lokalt nivå. Dette er noe som eventuelt kan analyseres ved bruk av LUTI-modeller, som er nærmere omtalt i kapittel 4.6.

Konsistensutfordringer oppstår på flere steder i modellsystemet. Den trafikkmengden som beregnes i en bestemt korridor stemmer ikke nødvendigvis med observerte trafikk tall – ofte er avviket stort. Dersom fokuset er på et bestemt geografisk område, er det praksis for å håndtere slike avvik gjennom ulike former for tilpasset kalibrering. Generelt er usikkerheten større på finere geografisk nivå. Men med tanke på klimaanalyse eller overordnede vurderinger av andre former for måloppnåelse, har detaljer på veldig fint geografisk nivå mindre betydning.

Ved kjøring av alle regionmodellene (RTM) i tillegg til NTM6 får en fram et mål på det aggregerte klimagassutslippet fra innenlands persontransport. Det er ingen garanti for at dette vil stemme med tallene i det offisielle klimagassregnskapet. For å sikre slikt samsvar må en på en eller annen måte CO₂-kalibrere modellene. I praktisk virkemiddelanalyse kan det imidlertid være nok at en får fram prosentvise endringer i forhold til et basisscenario.

3.2.4 Virkningene av teknologiendringer

Persontransportmodellene RTM og NTM6 er på avgjørende måter avhengige av data om observert reiseatferd. Det ligger i sakens natur at en da ikke får vite særlig mye om hvordan kommende radikale nyvinninger vil bli mottatt. Det vil ta tid før helt nye former for transport kan implementeres i modellsystemet slik det foreligger i dag: Først må de introduseres i markedet, så må de få såpass stor utbredelse at de fanges opp i en utvalgsundersøkelse, så må datainnhentingene skje, deretter må modellene omformuleres og reestimeres, osv. Som nevnt tidligere har vi levert et forslag til et forenklet modellsystem, basert på RTM-systemet. Dette beskrives nærmere i kapittel 3.3. Dagens RTM og NTM er programmert meget effektivt, men spesifikt inn mot de 20-talls modeller som er estimert, og det er svært ressurskrevende å endre denne koden. Et forenklet modellsystem vil bli vesentlig raskere å kjøre samtidig som det vil være mer fleksibelt når det gjelder å implementere nye transportformer. Dette vil imidlertid kreve at det gjøres omfattende forutsetninger både om egenskaper ved de nye transportformene og hvordan de vil oppfattes i transportmarkedet.

Innovasjon som innebærer mer marginale forbedringer i kjente transportmidler, kan være noe lettere å innpasse. Men heller ikke dette er alltid trivielt. Om reisetiden eller billettprisen med et bestemt fram-

komstmiddel går ned, kan dette enkelt legges inn i nettverksmodellen. Autonome biler innebærer muligheten at verdien av reisetid i bil (dvs. den subjektivt opplevde ulempe ved å sitte en time i bil) går ned. Dette kan ha vidtrekkende implikasjoner, herunder at nytten av raskere veier blir mindre og at bilen blir mer konkurransedyktig overfor fly, buss og bane. For å implementere dette i reiseetterspørselsmodellene må en – igjen – skaffe seg data (evnt. selv gjøre grove forutsetninger) om hvordan personene opptrer i møte med den nye teknologien.

3.2.5 Egnethet for framskriving under andre forutsetninger om framtiden

Utviklingstrender og modellenes egnethet

Utlysningen etterspør en vurdering av transportmodellenes egnethet til å fremskrive transportetterspørselen under andre forutsetninger om framtiden enn de som tradisjonelt har ligget til grunn for reiseetterspørselen med utgangspunkt i noen konkrete utviklingstrekk. Disse er angitt i tabellen under, sammen med et forsøk på en vurdering av om og eventuelt hvordan de etablerte persontransportmodellene kan brukes i forbindelse med disse utviklingstrekken eller trendene. Det er også angitt hvilken modellinput som eventuelt vil kreves, alternativt et forslag til hvilken videreutvikling som kan være nyttig for å kunne studere utviklingstrenden nærmere. I teksten under tabellen gis det utfyllende informasjon om hvert av utviklingstrekken. Dette inkluderer en kvalitativ vurdering med fire kategorier, hvor fargekoder er brukt for å gi oversiktighet ved sammenlikning på tvers av utviklingstrekk og de ulike modellene. Betydningen av fargekodene er vist under tabellen:

Tabell 3.1 Oppsummering av ulike utviklingstrender og eksempler på hva som kan analyseres i RTM/NTM6, samt informasjonsbehov og/eller tilrettelegging for analyse.

Eksempler på hva som kan analyseres	Vurdering av modellenes egnethet
Økt vektlegging av militære behov	
– Endring i arbeidsplasser – Endringer i bosatte – Forbedret infrastruktur på gitte relasjoner	– Konkretisering av hvilke endringer som forventes i bosatte og arbeidsplasser (endring i inputfiler på grunnkrets nivå) – Eventuelle endringer i infrastruktur (som påvirker reisetider eller priser)
Klimaendringer og klimatilpasning av infrastruktur	
– Brudd i infrastruktur (vei, bane) pga. mer ekstremvær (skred, flom osv) – Områder blir vanskelig tilgjengelig – Innstillinger i fly- eller hurtigbåttilbud pga. mer uvær – Dårligere regularitet for kollektivtransport (buss) som følge av vanskeligere veivedlikehold og glattere veier	– Informasjon om endringer i nettverk eller kollektivruter (innstilling eller økt tidsbruk) – Kan forutsette uendret reisemønster (kun endring i rute- eller transportmiddel) eller at også reisefrekvens og destinasjonsvalg revurderes
Klimatilpasning av infrastruktur	
– Ikke direkte relevant for modellanalyse, så sant ikke infrastrukturen endres, f.eks. forbedring i en transportkorridor	– Eventuelle endringer i infrastruktur som påvirker reisetider eller priser (og dermed konkurransen mot andre ruter og/eller transportmåter)
Sterkere vekt på å unngå tap av natur	
– Strammere styring av arealpolitikken, i form av hvor boliger og arbeidsplasser lokaliseres – Strengere retningslinjer for hvilke infrastrukturprosjekter som kan gjennomføres – Sterkere restriktive virkemidler mot privatbilbruk for å hindre byspredning og redusere behovet for arealkrevende infrastruktur	– Konkretisering av endring i arealbruk, i form av inputfiler for bosatte og ulike arbeidsplasser i sonene. – Kan ADV være relevant? – Konkretisering av betydning for hvilken infrastruktur som skal analyseres (hva inngår i referansebanen og hva skal prosjektberegnes?) – Konkretisering av restriktive virkemidler – Høyere verdsetting av areal i samfunnsøkonomiske analyser?
Mer elektrifisering	
– Innfasingstakt for elektriske personbiler, varebiler, busser, ferger, fly – Utbygging av ladeinfrastruktur?	– Alternativ innfasingbane for elektriske personbiler. – Innfasingbane for varebiler (noe av deres kjøring er persontransport). – Effekt på ruteendringer eller billettpriser for busser, hurtigbåter og ferger. – Effekt på ruter og priser og atferd for nye flytyper – Eventuelle endringer i ventetid for hurtig-lading i korridorer. – Krever noe videreutvikling av NTM6.
Innfasing av ny teknologi (inkludert nye mobilitetsløsninger)	
– Selvkjørende biler (endret tidsverdi sjåfør) – Bestillingstransport (robotaxi), individuell eller delt – Ulike former for mikromobilitet	– Eventuelle forutsetninger som påvirker kapasitetsfunksjonene i nettverket (tettere kjøring enn dagens biler?) – Senkede krav til førerkortbehov? – Tillates «sjåføren» å bruke tiden til annet? (endret tidsverdi?) – Nye mobilitetsløsninger vanskelig å ta inn i dagens modell, men mulig i en forenklet og mer fleksibel modell, basert på RTM – Krever nye data om egenskaper til nye mobilitetsløsninger og preferanser (alternativt: grove forutsetninger basert på andre kilder)
Økt bruk av og endret tilgjengelighet til bærekraftig drivstoff	
– I liten grad relevant for personbil – Økt bruk av bærekraftig drivstoff for buss, tog og fly	– Eventuell effekt på billettpriser i kollektivtransporten – Effekt på billettprisene for flyreiser. Kan eventuelt beregnes ved bruk av PACER-modellen.
De vesentligste effekter kan tas med gjennom inndata som i dag framskrives på brukbar måte.	
Betydelig usikkerhet om hvordan trenden omsettes til inndata. Det krever nye analyser utenfor modellene.	
Krever vesentlige endringer i modellenes struktur og kalibrering. For eksempel tilføyelse av nye valgmuligheter.	
Håndteres bedre med utvikling av andre modeller. Mulig overføring av resultater til etablerte transportmodeller.	

Økt vektlegging av **militære behov** antas først og fremst at vil gi økt vektlegging av strategisk infrastruktur, som gir pålitelig framkommelighet i alle deler av landet. Vi forventer at dette vil ha relativt liten påvirkning på transportetterspørselen for de reisehensikter som er med i modellenes transportstrømmer. Dersom man definerer behovet for militærstrategisk viktig infrastruktur, med spesifikk informasjon i form av kodegrunnlag til en nettverksmodell, så kan modellene naturligvis beregne hvordan det vil påvirke etterspørselen etter transport. Det samme gjelder dersom man ser for seg at en i denne utviklingstrenden ser for seg en endring i bosetting og arbeidsplasser. Dette er forhold som vil kunne ha stor betydning lokalt der det eventuelt øker militær tilstedeværelse, mens effektene på persontransport på nasjonalt nivå antas små.

Klimaendringer, med økende hyppighet av ekstremvær (skred, flom osv.), kan føre til at man oftere opplever brudd i infrastrukturen for vei eller jernbane. Dette fører til økt tidsbruk og kostnader for å gjennomføre reisene, og kan også innebære at enkelte områder i perioder blir vanskelig tilgjengelig. Hyppigere perioder med uvær kan også føre til problemer for kollektivtransporten, med f.eks. innstillinger eller forsinkelser i fly- eller hurtigbåttilbudet. Dersom vi også opplever mer vekslende temperaturer rundt null grader så kan det medføre større problemer med vintervedlikehold av veiene, noe som bl.a. kan påvirke regulariteten i kollektivtrafikken (jfr. problemer med glatt føre for bussene i Oslo sist vinter). Forverringer i transporttilbudet som gjelder kun for kortere perioder, er ikke noe som umiddelbart kan håndteres i modellene, men man kan regne ut konsekvensene for etterspørsel og transportkostnader for de spesifikke periodene man snakker om. Ved det kan modellene f.eks. bidra til å vurdere nytten av ulike former for **klimatilpasning av infrastrukturen** som gir større robusthet og oppetid under krevende værforhold.

Sterkere vekt på å unngå tap av natur vil bidra til å bestemme hvilke infrastrukturprosjekter som vil bli akseptert, for eksempel via høyere verdi på arealbruk. Dette kan innebære økt prioritering av mindre inngripende prosjekter i eksisterende trasé, som vil påvirke hvordan veinettet som skal ligge til grunn for modellberegningene ser ut. Denne trenden vil også kunne påvirke hvor en i framtiden vil tillate boligutvikling og lokalisering av arbeidsplasser. Transportmodellene vil ikke kunne beregne hva som er en optimal eller riktig arealbruk, men man vil kunne regne på ulike arealbruksscenarier for å få fram arealbrukens bidrag til endringer i transportomfang, transportmiddelfordeling og transportkostnader. En kan også ser for seg at det vil innføres sterkere restriktive virkemidler mot privatbilbruk, som et virkemiddel for å hindre bilbasert byspredning og ved det redusere behovet for arealkrevende infrastruktur.

I dagens persontransportmodeller ligger det for personbilparken allerede inn en relativt rask **innfasings-takt for elektriske kjøretøy**, ved at Nasjonalbudsjettet 2023 sin forutsetning om at 100 % av personbilsalget i 2025 er elektrisk ligger til grunn. Dette er, for hvert år framover, bearbeidet til en fordeling av bilparken på drivlinjer i hver enkelt sone i modellen. En annen innfasingstakt lar seg enkelt implementere ved å endre modellens inputfiler, og vil påvirke både omfanget av bilkjøring (så lenge kostnadene ved bruk av elbiler og andre biler er forskjellig) og beregnede klimagassutslipp. I og med at noe persontransport også foregår med varebiler, så vil også innfasingstakten for varebiler være av betydning for utslippsberegningene fra en modellkjøring. Denne ligger en del etter i NB23-forutsetningene om nybilsalget.

For kollektive transportmidler så er ikke drivlinje eller andel av transportmidlene som er elektrifisert direkte representert i modellene, og det vil heller ikke bety noe for transportetterspørselen så lenge billettpris og rutetilbud (ruteplaner, frekvens, tidsbruk) er det samme. Dersom elektrifiseringen endrer på noe av dette så kan det tas hensyn til i modellen gjennom endring i ruteopplegg eller billettpriser. Selv om økt elektrifisering ikke nødvendigvis fører til endret transportomfang, så vil uansett påfølgende utslippsberegning ta hensyn til at elektrifiseringen forseres.

For fly gjelder tilsvarende som for de kollektive transportmidlene, men der vil et eventuelt elektrisk tilbud i lang tid fremover trolig være så forskjellig fra dagens flytilbud (pga. begrenset størrelse og rekkevidde på el-fly) at det vil framstå som et «nytt mode», med andre egenskaper enn dagens fly.

Ved rask innfasingstakt for elektriske kjøretøy kan det, i hvert fall i travle perioder, oppstå utfordringer knyttet til begrenset ladeinfrastruktur. Et forslag som er levert om forbedret modellering av elbiler i NTM6 inkluderer at det kan legges til grunn at det er behov for å lade på lengre reiser. Dette vil åpne for muligheter til å gjøre forenklede analyser av tidsbruk til lading (inkludert utfordringer med ventetid for lading) i ulike korridorer.

Dagens modeller har en utfordring i tilknytning til analyse av visse former for **innfasing av ny teknologi og nye mobilitetsformer**, siden modellsystemet er lite fleksibelt og egner seg dårlig til å ta inn nye transportmåter. Dette er noe som er foreslått bedret ved etablering av en enklere og mer fleksibel modell basert på RTM (se kapittel xx). Uansett hvilken form for ny teknologi eller framtidige nye mobilitetsformer man snakker om, så vil det være behov både for informasjon eller forutsetninger knyttet til selve transporttilbudet (pris, tilgjengelighet osv.) og til hvordan transportbrukerne bruker eller verdsetter det nye tilbudet. Dette krever at man enten har tilgang til data som dekker dette behovet eller at det gjøres forutsetninger basert på andre kilder.

Økt bruk av og endret tilgjengelighet til bærekraftig drivstoff er i liten grad relevant for personbiler, da elektrifisering ser ut til å bli den dominerende teknologien for disse (har riktignok vært en liten økning av hydrogenbiler pga. det nylige elbilforbudet i kollektivfelt inn mot Oslo). Alternative former for bærekraftig drivstoff er imidlertid relevant både for deler av kollektivtransporten for bruk i fly. I modellsammenheng så vil dette være relevant å legge til grunn i den grad det endrer billettprisene. Vi antar det ikke vil påvirke rutetilbudet da det ikke har de samme utfordringene med begrenset rekkevidde som elektrifisering. For fly kan det være relevant å bruke PACER-modellen (Kristensen og Thune-Larsen, 2023) til å beregne hvilken effekt mer bruk av bærekraftig drivstoff vil forventes å få for billettprisene i luftfart. PACER er et verktøy for å analysere effektene av forskjellige politiske tiltak for billettpriser, passasjertall og CO₂-utslipp for norske innenriks- og utenriksruter mot 2030. I tillegg beregner modellen konsekvensene for statsbudsjettet og kostnader for de reisende og luftfartsselskapene.

Målet om næringslivets konkurransekraft er mer relevant for godstransporten enn for de beregninger som gjøres i persontransportmodellene. Det er imidlertid fullt mulig å regne på hvordan ulike tiltak påvirker kostnadene knyttet til tjenestereiser, dersom det er noe som inngår i dette målet.

Generelt om bruk av dagens transportmodeller ved radikalt endrede forutsetninger

Hovedutfordringen knyttet til å predikere trafikale virkninger som følger av nye transportformer eller radikale samfunnsendringer er at man hverken kjenner til de reelle eller opplevde kostnadene knyttet til bruk av nye transportformer, eller kan forutsi hvilke radikale samfunnsendringer som vil komme, og hvordan folk tilpasser hverdagen sin etter dem.

De etablerte persontransportmodellene er estimert på empiriske data fra den nasjonale reisevaneundersøkelsen. Når modellene brukes til framskrivninger, vil trafikantenes atferd i møte med endringer i transporttilbud og arealdata beregnes på bakgrunn av nåtidens preferanser. De etablerte transportmodellene inneholder kun transportformer det finnes tilstrekkelig empiriske data for.

Det er likevel fullt mulig å bruke de etablerte persontransportmodellene til å beregne effekter av nye transportformer eller radikale samfunnsendringer ved å endre forutsetningene som ligger til grunn i modellene. Da beveger man seg imidlertid utenfor modellenes opprinnelige gyldighetsområde, og har naturlig nok ikke lenger empirisk støtte for resultatene.

Man kan også designe nye transportmodeller som er bedre egnet til å *modellere* virkninger av de radikale utviklingstrekkene man ser for seg kan komme i fremtiden. Dette betyr imidlertid ikke nødvendigvis at slike modeller vil være bedre egnet til å *predikere* slike virkninger.

3.3 Forenklet modell basert på RTM

I forbindelse med scenarioanalyser (f.eks. som del av en backcastingprosess) vil det være nyttig å endre mange eksogene variabler, både hver for seg og i ulike kombinasjoner. Dette introduserer et behov for å gjøre atskillig flere beregninger for et gitt framtidsår enn det som har vært praktisk mulig med dagens transportmodeller. Dagens modeller kan ha svært lange beregningstider, avhengig av størrelse på modellområde og omfang av køer i det geografiske området vi studerer. Som en løsning på dette har TØI og Numerika nylig foreslått utviklet et forenklet modellsystem, basert på dagens RTM-modeller (TØI arbeidsdokument 52113-2024). Fra forprosjektet i dette arbeidet konkluderer man med at det kan være håp om regnetidsbesparelser på 70-90 %, avhengig av modellområdets størrelse og karakter. Hvor stor andel av tidsbesparelsen som vil være knyttet en forenklet etterspørselsmodellering og hvor mye som vil hentes fra forenklinger i nettverksdelen av modellen vil både variere med modellområdet og om modellen er implementert i CUBE eller EMME.

En reprogrammering og forenkling av etterspørselsmodellen (fra C++ til Python) vil gi et mer fleksibelt modellsystem enn vi har i dag, ved at det f.eks. tillater at man inkluderer nye transportmåter (nye modes). Dette er ikke mulig i dagens transportmodeller uten en omfattende endring av koden. Det vil selvsagt fortsatt være stor usikkerhet dersom en tar inn nye modes (f.eks. elsparkesykler, autonome kjøretøy mm) siden datagrunnlaget er mangelfullt, men det vil i den forenklete modellen være mulig å inkludere slike nye transportmåter i analysene gitt at man klarer å etablere de nødvendige parametere for disse.

I og med at modellsystemet vil være betydelig raskere enn tidligere, så vil man ha helt andre muligheter enn før til å gjøre mange beregninger for å teste ut og kalibrere inn slike nye modes. Også andre endringer og trender vil være lettere å inkludere i scenarioanalyser med den foreslåtte forenklete modellen, f.eks. endrede reisefrekvenser for gitte typer reiser (mer hjemmekontor, internetthandel, eller lignende).

Vi mener i utgangspunktet at den foreslåtte forenklete/raskere modellen skal kunne brukes til omtrent samme type analyser som dagens, samtidig som den vil være mer fleksibel når det f.eks. gjelder transporttilbud/modes osv. Det er fortsatt usikkert hvor store forskjeller det vil være fra dagens modellverktøy når det gjelder hvilken «respons» eller effekt som beregnes av ulike tiltak. Dette vil vi først kunne si mer om når en første versjon av modellen foreligger. For taktiske analyser av dagens situasjon kan det fortsatt være mest hensiktsmessig å bruke RTM slik den foreligger i dag, da den på flere områder vil være mer detaljert. For fremtidsanalyser, med større usikkerhet både i input og i respons på tiltak, vil forenklete modeller egne seg da de (regnetidsmessig) vil tillate mye flere beregninger slik at en kan teste ut effekten av svært mange enkelttiltak og kombinasjoner av tiltak i søk etter ulike måter å nå oppsatte mål på. Ved å etablere en rutine for etterberegninger som for hvert alternativ viser i hvilken grad den valgte kombinasjon av tiltak når hvert enkelt av de oppsatte målene (gitt at de har latt seg kvantifisere), får en hjelp til å finne «optimale» pakker av slike enkelttiltak mht. oppnåelse av målene.

Det vil være en kostnad knyttet til å reprogrammere (i nytt programmeringsspråk) og forenkles modellen, men det er grunn til å tro at dette er kostnader som kan oppveies av økt effektivitet i etterkant, når man skal søke etter scenarier/utviklingsbaner som oppfyller gitte mål.

3.4 Nasjonalt godsmodellsystem

3.4.1 Struktur

Det nasjonale godsmodellsystemet består av Nasjonal godstransportmodell (**NGM**), **GodsNytte** og **NOREG2**, og er heldekkende for godstransportbehovet innenriks, utenriks og for transitt gjennom Norge. Modellsystemet kan deles inn i en etterspørsels- og en tilbudsside. Etterspørselssiden er representert ved et sett *varestrømsmatriser*, en database over *bedrifter* i hver sone og modellen

NOREG2 (omtales mer spesifikt i avsnitt 3.6). Tilbudssiden er representert ved *kostnadsmodeller*, en *nettverksmodell* og en *logistikkmodul*. *GodsNytte* er en ettermodell til NGM som brukes til å beregne samfunnsøkonomisk nytte av tiltak og scenarioer.

Varestrømsmatrisene – én for hver av 39 varegrupper – representerer årlig vareflyt mellom norske kommuner⁷ og mellom norske kommuner og utlandet. Varestrømmene mellom soner brytes ned til strømmer mellom bedrifter i de respektive sonene. Nettverksmodellen beskriver de fysiske framføringsårene for vei-, sjø-, jernbane- og flytransport, samt omlastingspunkter (havner og terminaler) mellom disse. Kostnadsmodellene og logistikkmodulen brukes til å optimalisere sendingsstørrelse, sendingsfrekvens og transportkjedevalg. Likevektsmodellen *NOREG2* representerer hele den norske økonomien og brukes blant annet til å utarbeide framskrivningsbaner for verdiskaping mellom regioner i Norge og til/fra utlandet. Disse regionaliserte vekstbanene knyttes så til varestrømmer mellom og internt i hver sone i NGM og med det til å beregne fremtidig transporttetterpørsel for ulike framtidsscenarier.

Modellsystemet for godstransport kan karakteriseres som en blanding av 'top-down'- og 'bottom-up'-modeller. Logistikkmodulen tar utgangspunkt i faste etterspørselsmatriser med årlige godsvolumer mellom alle modellens soner og beregner transportløsning mellom par av soner for hver av de 39 aggregerte varegruppene. I utgangspunktet gjøres beregningen isolert for hver varegruppe, men det er etablert rutiner for å ta hensyn til at det skjer konsolidering av flere varegrupper på store transportmidler som skip og tog.

Sentrale inndata til logistikkmodulen er varestrømsmatrisene, samt filer med informasjon om transportkostnader, terminalkostnader og godsets (tids)verdi. Ved hjelp av nettverksmodellen genereres matriser med transporttid, distanse og bom-/fergekostnader mellom modellens ulike soner (LoS-data). Slike matriser etableres for alle transportmidler og et stort antall kjøretøytyper innenfor hvert transportmiddel. Disse matrisene multipliseres med enhetskostnader for transporttid og distanse, og sammen med informasjon om ulike former for terminalkostnader får man fram transportkostnadene ved alle transportløsninger (dvs. kombinasjoner av transportmidler og kjøretøytyper) mellom par av soner. Sammen med andre logistikkostnader, som varens tidsverdi, lagerholdskostnader, ordrekostnader mv., brukes de beregnede transportkostnadene til å finne optimale transportløsninger for alle transportstrømmer innen, til og fra Norge med utgangspunkt i minimering av de totale logistikkostnadene. Bedriftenes beslutninger om sendingsstørrelse og frekvens på sendingene er inkludert i optimaliseringen. Sendingsstørrelse er en viktig faktor for valg av transportløsning, bl. a fordi det for forskjellige transportmidler er ulik grad av avtakende enhetskostnader både mht. lastvekt og transportdistanse. Derfor vil det eksempelvis for små forsendelser være lønnsomt med samlast, dvs. at en forsendelse konsolideres med gods fra andre avsendere.

Logistikkmodulen består av fire enkeltstående programmer som kjøres etter hverandre, de to siste av dem i flere iterasjoner. Det første programmet, *Firm2Firm*, genererer transportstrømmer mellom bedrifter basert på varestrømsmatriser og bedriftsdata i avsender- og mottakersone for hver varegruppe. Neste program, *BuildChain*, bygger transportkjeder for alle kjedetyper (kombinasjoner av transportmidler) som er definert som lovlige for den aktuelle varegruppen. I tredje program, *ChainChoice*, evalueres mulige transportkjeder for en gitt varestrøm, og optimale transportkjeder og sendingsfrekvenser velges. Programmet *Consolidate* benyttes til å beregne riktig konsolideringsfaktor/utnyttelsesgrad for alle transportmidler på alle de transportkjeder som evalueres. Sistnevnte program er for tiden under videreutvikling, da en svakhet med programmet var at det i en del tilfeller favoriserte bruk av sjøtransport for små forsendelser.

En standard kjøring av logistikkmodulen produserer matriser per varegruppe og transportmiddel for antall tonn gods mellom alle par av soner og terminaler, der rapporteres også valgt transportløsning og

⁷ De seks største byene er representert ved 4-12 soner hver.

logistikkostnader for alle varestrømmene i modellen (*Chainchoi.out*). Programmet *Report* aggregerer resultatene til makrotall per varegruppe (*Summary.rep*). Det finnes også et tilleggsprogram, *Extract*, som genererer matriser for antall kjøretøy mellom alle par av soner og terminaler. Dette programmet kjøres etter at resten av modellen er kjørt, dersom man ønsker f.eks. å beregne trafikkarbeid eller validere modellen mot trafikkdata. Til slutt finnes et program, *Constraints*, som kun kjøres hvis man vil studere effekten av kapasitetsbegrensninger på jernbanestrekninger eller i jernbaneterminaler. Også dette programmet kjøres først etter at en ordinær modellkjøring av logistikkmodulen er gjennomført. Programmet er under videreutvikling, bl.a. for at det skal kunne brukes sammen med siste utvidelse av transportmidler som er gjort i modellen.

3.4.2 Aktører

Også NGM er en disaggregert modell, men soneinndelingen er mer aggregert enn i RTM og NTM6. NGM skiller ikke spesifikt mellom ulike aktører, men varestrømsmatrisene representerer transportkjøpernes transportbehov. Disaggregeringen fra varestrømmer mellom kommuner til varestrømmer mellom bedrifter i *Firm2Firm*-modulen ivaretar heterogenitet i bedriftspopulasjonen mht. bedriftsstørrelse. Transportnettverket (LoS-matrisene) og kostnadsmodellene representerer transporttilbudet.

Modellen differensierer ikke direkte mellom bruk av utenlandske transportaktører og transporter med rene nasjonale aktører. For import og eksport med lastebil, der det er høy andel utenlandske aktører, er dette løst ved at kostnadene for lastebil/trekkvogn er et vektet gjennomsnitt av norske og utenlandske biler. Vektingen kan differensieres avhengig av hvilket land varene kommer fra eller skal til. For sjøtransport benyttes internasjonalt kostnadsnivå for skipstyper hvor utenlandske aktører eller internasjonale flagg i stor grad er praksis.

3.4.3 Eksogene og endogene variabler

Logistikkmodulen fordeler gods mellom modellens soner på ulike transportkjeder og via ulike terminaler med utgangspunkt i eksogent gitt transportbehov mellom bedrifter og soner. Det vil si at den totale mengden gods i modellen er konstant, så lenge man benytter samme sett av varestrømsmatriser. Hvilke transportkjeder og rutevalg som brukes, beregnes endogent av modellen.

I framskrivingene til NTP 2025-2036 forutsettes det at SSBs befolkningsframskrivninger og Perspektivmeldingens forventninger om økonomisk utvikling i de vareproduserende næringer kan legges til grunn for framtidig utvikling i godsstrømmene. Selve framskrivingen gjøres med likevektsmodellen NOREG2 og resulterer i regionaliserte vekstbaner som igjen avhenger av transportkostnader fra NGM. Det vil si at utvikling i transportkostnader påvirker i noen grad lokalisering av hvor produksjonen er og hvor innsatsvarer hentes fra og til hvilke markeder ferdigvarer leveres. Fordi det i mange tilfeller er relativt små forskjeller i transportkostnader mellom ulike alternativer, påvirkes bedriftenes varestrømmer sjelden i vesentlig grad. Omlokalisering kan skje dersom avgiftsendringene er store.

3.4.4 Forutsetninger om atferd

I NGM står transportkjøperne overfor beslutninger om sendingsstørrelse og frekvens på sendingene. For varer med høy enhetsverdi vil det være lønnsomt med høy leveringsfrekvens for å ikke binde for stor kapital i lagerhold. For transporten kan da konsolidering være lønnsomt, dvs. at en forsendelse samlastes med gods fra andre avsendere. Omvendt vil det for varer med lav enhetsverdi gjerne være transportkostnaden som dimensjonerer logistikkostnadene, og det vil være lønnsomt å bestille varer med lav frekvens og store sendingsstørrelser som kan fylle hele skip eller tog. Eksempler på dette er tømmer og andre råvarer som mineraler og malmer.

3.4.5 Teknologi

For godstransport er den dominerende fremdriftsteknologien fortsatt basert på fossilt drivstoff, både på vei og sjø. Dette gjelder i modellen så vel som i virkeligheten, og det var også dette som ble lagt til grunn i basisframskrivingen til NTP 2025-2036. Siden dette arbeidet ble utført er kostnadsmodellene utvidet slik at det, med noen modifikasjoner i kostnadsmodellen, er mulig å endre teknologivalg i et prognoseår. Dette kan operasjonaliseres ved at modellen kjøres med et alternativt teknologivalg for noen eller alle transportformene og at man så f.eks. legger til grunn et vektet scenario som er basert på resultatet av to eller flere modellkjøringer, med alternative energibærere som biogass, batteri eller hydrogen. Det er foreløpig ikke mulig å beregne effekten av ulike teknologi direkte i ett scenario fordi modellen bygger på en kostnadsminimerende løsning, og derfor vil velge den transportformen som er billigst. Man kan ikke legge til grunn et vektet gjennomsnitt av ulike framdriftsteknologier fra kostnadsmodellene direkte, da det vil kunne påvirke transportkostnadene mellom transportformene.

3.4.6 GodsNytte

GodsNytte er en Excel-basert ettermodell til NGM som brukes til å beregne den samfunnsøkonomiske nytten med utgangspunkt i resultatfilen *Summary.rep*. Beregningene er inndelt i ulike grupper av nytte-virkninger og skiller mellom transportbruker- og transportoperatørnytte⁸, skatter og avgifter, bom- og fergeoperatørnytte, eksterne kostnader og skattekostnader. Transportbruker- og transportoperatørnytte og bom- og fergeoperatørnytte er komponenter av transportkostnadene i NGM. I *GodsNytte* anslås skatter og avgifter og eksterne kostnader med utgangspunkt i antall tonnkilometer i et referanse-scenario og ett eller flere alternativscenarier. Modellen er dokumentert av Caspersen m.fl. (2015), men er oppdatert i 2024 og følger veilederen for samfunnsøkonomisk analyse fra DFØ.

I *GodsNytte* beregnes samfunnsøkonomisk nytte av tiltak i henhold til bruttometoden. Det innebærer at man fører kostnader og nytte for hver av de ulike sektorene i den samfunnsøkonomiske analysen, og summerer disse for å finne samfunnets nytte av tiltaket. Metoden innebærer at en overføring mellom to sektorer føres to ganger, som inntekt for én sektor og som utgift for en annen, og dermed faller bort i oppsummeringen.

I *GodsNytte* beregnes CO₂-utslippet basert på drivstofforbruk per km for hvert av de 10 hovedtransportmidlene i NGM (lett lastebil, tung lastebil/trekkbil, modulvogntog, containerskip, andre skip, heltog, dieseltog, andre tog, ferger, fly), samt en forutsetning om gjennomsnittlig lastvekt for omregning til utslipp per tonnkm. Dersom *Godsnytte* skal benyttes til en scenarioberegning der det er anvendt en innfasing av nullutslippsteknologi i kostnadsmodellen, må dette også ivaretas i *GodsNytte*beregningene.

3.5 Vurdering av godsmodellssystemet

3.5.1 Sterke og svake sider

Modellverktøyet vil ikke kunne predikere hvorvidt det oppstår ny produksjon på lokaliteter hvor det ikke er produksjon av denne varetypen i utgangspunktet, heller ikke om bedriftseiere velger å omstrukturere driften i færre eller flere produksjonsenheter (sentralisering/desentralisering). For slike analyser må det gjøres manuelle korrigeringer i inngangsdataene til modellene. Det er neppe mulig å utvikle et modellverktøy som fullt ut klarer å håndtere endringer i bedrifters lokaliseringsmønster over tid. Denne be-

⁸ Transportkostnader beregnes 'bottom-up', og det tas hensyn til at transportøren kan ta ut profitt. Det vil si at endringer i transportkostnader (for eksempel som følge av avgiftsendringer) ikke nødvendigvis veltes fullt ut over på transportbruker. Konsumentoverskuddet, uttrykkes som differansen mellom logistikkostnader i tiltaksalternativet og referansealternativet, vil derfor kunne tilfalle både transportoperatør og transportbruker.

grensningen må brukerne av modellverktøyet ta inn over seg og være klar over når modellresultatene presenteres.

Iterative analyser med NOREG 2 og NGM kan gi innsikt i hvordan endrede rammebetingelser, som f.eks. avgifter og infrastrukturtilgjengelighet, påvirker logistikkostnader og produksjonsstruktur i transportsystemet. Ved store kostnadsendringer kan resultatet av en modellkjøring i NGM benyttes som ny input i NOREG 2. Da kan man analysere hvordan produksjonsstrukturen eventuelt påvirkes av transport og/eller klimapolitikken. Eksempel på en slik analyse ble gjennomført i forbindelse med klimabalanene til NTP 2025-2036 (Madslien m.fl., 2023).

Transportmiddelfordelingen i modellen er basert på en deterministisk løsning der de generaliserte transportkostnadene minimeres. Det deterministiske modellsystemet inkluderer kun kostnadselementer som forklaringsvariabler og kan i enkelte tilfeller beregne for store endringer av et gitt tiltak. For en gitt sone-relasjon og varetype opererer modellen med diskrete transportkjeder. Det vil si at modellen for hver varestrøm, relasjon og bedriftskategori beregner hvilken frekvens, sendingsstørrelse, transportkjede og evt. omlastingssted som minimerer transportkostnaden. Transportkjeden kan bestå av alt fra ett til fire ulike transportmidler. Enkelte eksogene endringer i transportkostnader eller -tid kan derfor gi store utslag for fordelingen mellom transportkjeder, dersom flere kjeder er tilnærmet likeverdige i utgangssituasjonen. Dersom kostnadsforskjellene mellom de alternative transportkjedene i referansescenariot er store, vil modellen kunne gi små effekter av et tiltak. Potensielt kan et slikt 'alt eller ingenting'-oppsett gi store utslag for enkelte varer, men da de fleste varestrømmene bedrift-til-bedrift er små og mange, vil trolig ikke den aggregerte effekten være av særlig betydning. Dersom det er ulike sendingsstørrelser for en vare på en bestemt relasjon, kan man få beregnet ulike transportmidler for sendingene på den aktuelle relasjonen.

I utlysningen ba oppdragsgiver om at usikkerheten i framskrivingene belyses, og her er det et svært bredt spekter av elementer som gjør at det er vanskelig å kvantifisere usikkerheten. Dette gjelder alle steg fra varestrømmer, kostnadsmodeller, beregningslogikk og rutevalg. Dette kan illustreres ved ett eksempel som gjelder kostnadsmodellene. Det har i senere tid vært jobbet med å utvikle kostnadsmodeller for alternative fremdriftsteknologier i modellrammeverket. Foreløpig er ikke disse kostnadsmodellene integrert i en ordinær modellkjøring, men det er mulig å velge fremdriftsteknologi for ulike kjøretøy- og fartøystyper i scenarioanalyser. En utfordring er at for noen av transportformene, spesielt for sjøtransport, er den nye teknologien fortsatt svært umoden og skipene produseres som skreddersøm for hver enkelt kunde (i enda større grad enn for lastebiler). Det gjør at det er stor usikkerhet i kostnadsestimatene. Også alternative drivstoff produseres foreløpig i så små volum at dagens prisnivå, og enda mer prisutviklingen framover, er beheftet med høy usikkerhet. Til å belyse usikkerheten må man derfor ha kunnskap om hvordan de alternative forutsetningene om parameterne i kostnadsmodellene påvirker konkurranseflaten mellom transportformene for ulike markedssegmenter.

3.5.2 Rommet for virkemiddelanalyser

Godsmodellsystemet er egnet til å analysere mange av de samme problemstillingene som persontransportmodellene, men fordi transporttetter spørsmål er gitt for et år for et fast sett av etterspørselsmatriser, er det mer begrenset hvordan modellen slik den nå står direkte kan analysere effekter på transporttetter spørsmål og den er heller ikke direkte egnet for analyser av variasjoner over døgnet.

For å strukturere hvordan modellen kan benyttes til analyser av ulike offentlige virkemidler innenfor et rammeverk som fokuserer på unngå, forbedre og flytt (UFF), har vi utarbeidet en oversikt i Tabell 3.2.

Tabell 3.2 Eksempel på offentlige virkemidler innenfor UFF-rammeverket, operasjonalisering i NGM og berørt delmodul.

	Konkretisering	Offentlig virkemiddel	Operasjonalisering i NGM	Berørt delmodell
Unngå:	Redusere transporttetter spørsel og/eller utslipp			
	Redusere forbruket	Øke MVA på varige forbruksvarer	Redusere volumet av forbruksvarer	NOREG 2 og PWC-matriser
	Øke forsyningssikkerheten (reduser transportdistanse)	Facilitere lokal/desentralisert produksjon og lagerhold	Endring i avsender og mottakerlokasjoner	PWC-matriser
	Omstilling fra lineær- til sirkulærøkonomi	Restriktiv politikk på uttak av nye naturressurser	Ikke direkte implementerbart, påvirker varestrømmer	PWC-matriser
		Holdningskampanjer		
		Endre brukthandelsloven		
Flytte:	Overføring mellom transportformer og drivlinjer			
	Gjøre jernbane- og sjøtransport mer attraktivt	Effektivisering av havner og jernbaneterminaler	Endre effektivitetsklasse for terminaler	Kostnadsmodell
		Tilrettelegge for lengre tog (kryssningsspor)	Øke toglengde	Kostnadsmodell
		Tilrettelegge for større fartøy	Øke dybde i havner og farleder	Nettverksmodell
		Øke veibruksavgiften	Øke veibruksavg for bio	Kostnadsmodell
		Øke bompengetakster	Øke bomtakster	Nettverksmodell
	Restriksjoner for veitransport	Begrensninger på kjøretøytilgjengelighet og - dimensjoner	Begrensninger på kjøretøytilgang i soner Endre bruksklasser	Nettverksmodell
	Bytte til mindre CO ₂ -intensivt drivstoff	Øke CO ₂ -avgiften	Øke CO ₂ -avg	Kostnadsmodell
		Redusere veibruksavgiften for biodrivstoff	Redusere veibruksavg for bio	Kostnadsmodell
Forbedre:	Øke effektiviteten pr transportert enhet			
	Transportere med større enheter	Øke tillatte kjøretøydimensjoner	Oppgradere bruksklasser i veinett	Nettverksmodell
	Øke fyllingsgraden pr kjøretøy	Evt. satsning på digitalisering/ informasjonsutveksling	Øke tilgjengelig kapasitet for kjøretøy	Kostnadsmodell
	Elektrifisere hvor mulig	Tilskuddsordninger for kjøp og drift av elektriske transportmidler	Endre tilskuddsandel for nybilkjøp av el	Kostnadsmodell
	Bytte til karbonfrie drivstoff	Tilskuddsordninger for kjøp og drift av andre fremdriftsteknologier	Endre tilskuddsandel for nybilkjøp av alternative fremdriftsteknologier	Kostnadsmodell
		Utbedre elnett i transportkorridorer	Ikke direkte operasjonaliserbart, påvirker pris pr kWh	Kostnadsmodell
		Tilrettelegging av lade- /fylleinfrastruktur		
	Fange utslipp av CO ₂	Tilrettelegge for karbonfangst og lagring	Nye varestrømmer i NGM	PWC-matriser
			Nye kostnadsmodeller for skip	Kostnadsmodell

3.5.3 Egnethet for framskriving under andre forutsetninger om framtiden

I utlysningen etterspurte oppdragsgiver en vurdering av transportmodellenes egnethet til å framskrive transporttetter spørsmålet under andre forutsetninger om fremtiden enn dem som tradisjonelt har ligget til grunn for referansebanen. I dette avsnittet diskuteres dette ut fra relevansen for godstransport og analyser med NGM.

Som nevnt i avsnitt 2.6.1 omfatter **militære behov** forsterkning av kritiske bruer for militær mobilitet, totalforsvaret (beredskapssystemet som dekker både sivile og militære behov) og frakt av militært utstyr. Forsterking av bruer vil også kunne ha en nytte for næringslivet dersom dette er en flaskehals som setter restriksjoner på akseltrykk, totalvekt eller lengde på kjøretøy. Begrensningen i analysen er imidlertid at det har vist seg at det er dårlig informasjon om nettopp hvilke bruer som har begrensninger i fylkesveinettet. Når det gjelder frakt av militært utstyr og robusthet i lagring og distribusjon av kritiske innsatsfaktorer og varer. Mens globaliseringen har gitt tilgang til rimelige handelsvarer, har nasjonale lagre blitt bygget ned over tid og gjort nasjonen avhengig av land vi ikke har interessefelleskap med. Eksempler på kritiske varer i denne sammenheng er drivstoff, matvarer og medisiner. Tiltak vil være styrket lagerhold og planer for lageroppbygging. Svensk og finsk Nato- medlemskap kan bidra til integrert samarbeid om totalforsvaret, noe som styrker behovet for robust infrastruktur på tvers av landegrensene. TØI utførte i 2023 en analyse på oppdrag for Nærings- og fiskeridirektoratet, der NGM ble benyttet til å analysere drivstofforsyningen på tvers av de nordiske landene i noen scenarier med massiv brist i forsyningskjedene (Pinchasik og Hovi, 2023, rapporten er unntatt offentligheten). Modellen ble ikke gjort med standardversjonen av NGM, men det ble samlet inn informasjon om drivstofforsyningen i og mellom hvert av landene, og det ble laget en modifisert versjon av modellen, der antall soner i Sverige og Finland ble utvidet til å omfatte alle kommuner i disse landene og det ble også kodet inn noen sentrale havner og jernbaneterminaler. NGM, med visse modifikasjoner, er egnet til denne typen av analyser, men man må vurdere om varestrømsmatriser må justeres basert på innsamlet tilleggsmatriser. Et annet eksempel på lignende anvendelse kunne vært matvareforsyning. Når det gjelder de direkte militære behovene, som transport av militært utstyr, er dette ikke inkludert i NGM, fordi denne informasjonen er unntatt offentligheten. Dessuten vil transportbehovet variere avhengig av hvor øvelser finner sted, hvor det oppstår behov for beredskap eller om en uønsket situasjon skulle oppstå.

Klimaendringene er en utfordring for å opprettholde robuste transportsystemer, men er også en mulighet for nye transportkorridorer, fordi det påvirker isutbredelsen i Barentshavet og åpner for skipsfart gjennom Nordøstpassasjen. Dette vil medføre kortere distanser til det østlige Asia og gi nye muligheter for næringsaktivitet i nordområdene. Situasjonen er egnet for scenarioanalyser med NGM, der man kan legge inn endringer i transportnettverk og forutsetninger rundt endringer i handelsmønstre, men kompliserende faktorer er f.eks. tilgjengelighet til farvann utenfor Russland, behov for isbrytere og risiko for ulykker i krevende og sårbare områder. **Klimatilpasning av infrastruktur** er ikke noe som vi ser som direkte relevant for modellanalyser, men modellen er egnet til å analysere effekter av ulike typer av hendelser og mulighet for omkjøringer med forbehold om noen justeringer mht tilgjengelighet av tunge kjøretøy og vogntog i sekundærveinettet. Effektene kan være økt transporttid, kostnader, utslipp med mer.

Sterkere vekt på å **unngå tap av natur** er relevant mht. hvor det kan komme nyetableringer av arealkrevende virksomheter eller om eksisterende produksjonsanlegg eller lagre kan utvides i areal. Modellen har ingen direkte mekanisme rundt dette, men det kan analyseres ved at man f.eks. legger inn restriksjoner på hvorvidt eller hvor mye produksjonen av visse typer av varer kan øke i noen regioner, eller om produksjon, lager eller havnevirksomhet må opphøre. Med eksisterende soneinndeling i NGM (hovedsakelig er kommunenivå), er det begrenset hvor detaljerte analyser som kan gjennomføres. Antall soner kan relativt enkelt utvides (splittes) dersom det er hensiktsmessig for analysen.

Økt elektrifisering påvirker, i tillegg til reduserte utslipp, kostnader ved eie og bruk av transportmidlene. Selv om elektrifisering forventes å være mest relevant for lastebiltransport, vil det også kunne være relevant for noen segmenter innenfor sjøtransport. F eks sjøsatte COSCO i 2023 verdens største

elektriske containerskip med en kapasitet på 700 TEUs til å seile på Yangtze-elven i Kina. Dette er en skipsstørrelse som brukes i nærskipsfarten til/fra Norge. Norskeide Berge Rederi har bestilt verdens største batterielektriske bulkskip med en lastekapasitet på 13.250 dødvekttonn (skal kunne seile 230 nautiske mil på batteri og vindkraft). Eksempelene underbygger at batterielektrisk drift kan være relevant for skipsfart. NGM er langt på vei tilrettelagt for analyser av effekter av økt elektrifisering, med kostnadsmodeller for batterielektrisk drift for lastebiler, men foreløpig ikke for skip. Modellen tar ikke hensyn til rekkeviddebegrensninger og behov for lading. Dette kan eksempelvis løses ved å opprette egne nettverk for sjøtransport som definerer tilgjengelighet i avgrensede områder, f.eks. for innenriks kystfart, men ikke utenriks. Landstrøm er en annen form for elektrifisering, og påvirker bare drivstofforbruk og utslipp knyttet til liggetid i havn. Modellen beregner i dag ikke spesifikt drivstofforbruk knyttet til liggetid, så det er i så fall noe som må legges til i modellens kostnadsfunksjoner.

Innfasing av ny teknologi omfatter så mangt, men tre eksempler med relevans for godstransport er 1) autonome terminaloperasjoner og autonome kjøretøy/fartøy (droner), 2) digitalisering og 3) plattformer for datadeling og transportformidling. **Autonome løsninger** vil redusere mannskaps-/sjåførkostnad og kan optimalisere energi/drivstofforbruk, f.eks. ved å redusere fremføringshastigheten, som en følge at lønnskostnadene er borte, koster tiden mindre, og man får enda større effekt av «slow steaming» enn med mannskap ombord. Oslo Havn faser inn autonome containerkraner, mens Asko og Yara har batterielektriske skip (droner) som er eller skal bli helt autonome. NGM er ikke tilrettelagt for analyser av denne typen av løsninger enda, men det kan innarbeides som egne transportformer med egne nettverk, eller simuleres i scenarier ved å endre på kostnadsmodeller for tid, distanse og omlasting. En slik metodikk, med enkle forutsetninger om kostnadseffekten, ble testet ut i en av alternativberegningene ved siste transportframskriving (Madslien, Hovi og Hansen, 2022). **Digitalisering** muliggjør optimalisering og ytelseskontroll av sensorer og Internet of Things (IoT), noe som vil spare både energi og kostnader. Særlig er potensialet stort innenfor sjøfart. Dette er også noe som vil påvirke kostnadsmodeller i et framtidsscenario og kan grovt analyseres med modellen. **Plattformer for datadeling og transportformidling** er også i en start-up-situasjon, der man i et modent marked kan tenke seg en markeds plass der transportkjøper har tilgjengelig informasjon om transporttilbud og -pris for reelle transportmuligheter, og synliggjør faktorer som klimaavtrykk for de spesifikke transportløsningene og formidling av ledig returkapasitet i et spotmarked. Det vil kunne lede til økt fyllingsgrad for lastebiler og gjøre multimodale løsninger mer lønnsomme, som igjen vil resultere i økt fyllingsgrad og redusert trafikkarbeid. Denne typen av analyser kan med litt forarbeid analyseres på en overordnet måte i NGM, ved å justere på parametere som fremføringskostnader, hastighet, drivstofforbruk og tilgjengelig lastekapasitet på kjøretøy.

Økt bruk av og endret tilgjengelighet til bærekraftig drivstoff omfatter andregenerasjons biodiesel, biogass og bioetanol fra hhv. ikke-matbaserte ressurser som skog- eller landbruksrester, organisk avfall, kloakkslam og husdyrgjødsel, men også andre grønne energibærere som grønt hydrogen, ammoniakk og metanol. De ulike drivstoffene har ulik energitetthet, brennverdi og benytter spesifikke framdriftsteknologier. De krever også økt produksjonskapasitet og distribusjon av energibærerne i transportnettverket. I NGM er det etablert egne kostnadsmodeller for kjøretøy og fartøy for relevante energibærere. For sjøtransport er dette markedet fortsatt svært umodent og anslagene på merkostnadene er basert på en litteraturstudie.

Når det gjelder **målet om at næringslivets konkurransekraft nås**, er dette ikke noe NGM egnet for å analysere i direkte betydning, men forutsetninger for å oppnå dette er at norsk avgifts- og transportpolitikk følger tilsvarende politikk i EU/EØS, og at det sikres god fremkommelighet og regularitet på vei- og jernbanenettet, med eksisterende omkjøringsmuligheter ved avvikssituasjoner. Det er stor forskjell i robusthet og omkjøringsmulighet for vei- og jernbanetransport, noe som særlig ble tydeliggjort under ekstremværet Hans (august 2023), da Østlandet en periode var tilnærmet fysisk adskilt fra resten av landet med utfordringer for vareforsyningen. En utvidelse av begrepet kan omfatte virkninger av planer for næringsomstilling når oljen fases ut, noe som vil medføre endringer i den underliggende transporttetterpsørsel. Dette som er nærmere beskrevet under omtalen av NOREG 2 i avsnitt 3.6.

Tabell 3.3 oppsummerer de ulike utviklingstrendene og gir eksempler på hva som kan analyseres i NGM, samt behovet for informasjon og/eller tilrettelegging for analyse. Dette inkluderer en kvalitativ vurdering med fire fargekoder (der betydning av disse er vist under tabellen).

Tabell 3.3 Oppsummering av ulike utviklingstrender og eksempler på hva som kan analyseres i NGM, samt informasjonsbehov og/eller tilrettelegging for analyse.

Eksempler på hva som kan analyseres	Vurdering av modellens egnethet
Økt vektlegging av militære behov	
- Forsterkning av kritiske bruer - Transport av militært utstyr - Endringer i totalberedskap av kritiske varer - Alternative distribusjonsopplegg i et Nordisk perspektiv	- NGM er velegnet til analyse dersom bruene i utgangspunktet har medført en flaskehals mht. tillatt bruksklasse - Hvor er beredskapslagre lokalisert? - Mer detaljert sonenivå og nettverk i aktuelle land (regioner)
Klimaendringer og klimatilpasning av infrastruktur	
Ny transportkorridor i Nordøstpassasjen	Nettverksendring og evt. justering av varestrømmer
Klimatilpasning av infrastruktur	
- Ikke direkte relevant for modellanalyse, men kan illustreres ved - kostnader som følge av brudd på infrastruktur (for vei og jernbane) og - behov for alternativ framføring og/eller rutevalg	- Må definere hvor, hvor lenge og evt. hvor ofte det er brudd på kritisk infrastruktur - Modell må kjøres med og uten brudd. - Resultater må vektles sammen og måles mot referanse
Sterkere vekt på å unngå tap av natur	
Restriksjoner på hvor (eksisterende) virksomheter kan være lokalisert eller vokse	- Overstyre regionaliserte vekstrater fra NOREG 2 - Splitte eventuelt berørte soner
Mer elektrifisering	
(Forsert) innfasing av elektriske lastebiler (Forsert) innfasing av elektriske båter - Utbygging av landstrøm - Elektriske terminaloperasjoner	- NGM har etablerte kostnadsmodeller for batterielektriske lastebiler - Kostnadsmodeller for batterielektriske skip må evt. etableres - Analyse av landstrøm og elektrifisering av terminaloperasjoner vil påvirke drivstofforbruk og utslipp i havn og jernbaneterminal. Dette må innarbeides i kostnadsmodell for omlasting. - NGM må kjøres med definerte teknologivalg og evt. vekte sammen flere scenario
Innfasing av ny teknologi (inkludert nye mobilitetsløsninger)	
- Autonome terminaloperasjoner - Autonome kjøretøy - Digitalisering - Plattformer for datadeling og transportformidling	- Autonomi kan analyseres forenklet ved å eliminere mannskapskostnader fra kostnadsmodell for spesifikke terminaloperasjoner og kjøretøy. Bør også vurdere justeringer av komponenter som anskaffelseskostnad og framføringshastighet - Grove anslag på effekter av digitalisering og optimering, kan gjøres ved å endre på parametere som framføringshastighet og drivstofforbruk (litteratursøk) - Effekter av transportformidlings-plattformer kan være økt utnyttelsesgrad pr kjøretøy/fartøy (litteratursøk)
Økt bruk av og endret tilgjengelighet til bærekraftig drivstoff	
- Følgende energibærere kan medregnes som bærekraftig (i minst en variant): - Biodiesel - Biogass - Hydrogen - Ammoniakk - Metanol	- NGM har etablerte kostnadsmodeller for spesifikke energibærere - Evt. definerte nettverk med tilgang til drivstoff (f eks transporter på gitte relasjoner, kystnære transporter eller nærskipfart i Nordsjøbassenget) - NGM må kjøres for definerte teknologivalg og evt. vekte sammen flere scenario
De vesentligste effekter kan tas med gjennom inndata som i dag framskrives på brukbar måte.	
Betydelig usikkerhet om hvordan trenden omsettes til inndata. Det krever nye analyser utenfor modellene.	
Krever vesentlige endringer i modellenes struktur og kalibrering. For eksempel tilføyelse av nye valgmuligheter.	
Håndteres bedre med utvikling av andre modeller. Mulig overføring av resultater til etablerte transportmodeller.	

3.5.4 Behov og muligheter for videreutvikling

Deler av logistikkmodulen er for tiden under utvikling. Dette gjelder konsolideringsmekanismen og muligheten for å analysere kapasitetsbegrensninger i havner, jernbaneterminaler og på jernbanelinjer. Dette er nå til programmering og de nye løsningene har ikke vært testet.

Datagrunnlaget i varestrømsmatrisene ble for noen år siden oppdatert til 2020. Det jobbes for tiden med å oppdatere deler av varestrømsmatrisene til et nyere år basert på data som er offentlig tilgjengelig, men det er også behov for å oppdatere varestrømsmatrisene med data som må bestilles fra SSB. Hovedutfordringen, er at den data som representerer den mest kompliserte vareflyten og logistikken i modellen, i stor grad er basert på SSBs varestrømsundersøkelse fra 2014.

Nye varestrømmer som følge av omstillingen mot lavutslippssamfunnet

For at nye varestrømmer skal fanges opp av NGM må de være representert i varestrømsmatrisene.

Som nevnt under utviklingstrender i avsnitt 2.5 har logistikken flere roller i omstillingen mot lavutslippssamfunnet. Den ene rollen er adaptasjonen av nullutslippsløsninger for alle transportformer. Men logistikken spiller også en viktig rolle for at omstillingen til lavutslippssamfunnet skal være gjennomførbar. Dette vil påvirke omfanget av godstransport og hvor volumet fraktes. Noen eksempler på dette nevnes under.

Som følge av utfasing av petroleumssektoren, har Regjeringen utpekt syv satsningsområder for omstilling av industrien gjennom initiativene Hele Norge eksporterer og Grønt industriløft. Også den nasjonale strategien for en grønn, sirkulær økonomi vil påvirke varestrømmer og forsyningskjeder. Til å analysere dette står likevektsmodellen NOREG 2 sentralt, men dersom initiativene medfører at lokasjoner for hvor produksjonen finner sted og om innsatsvarer hentes fra nye kilder, er dette noe som må innarbeides i modellens varestrømsmatriser. Endringsratene vil beregnes med NOREG 2 og kobles til modellens varestrømsmatriser. Under nevnes noen eksempler på slike, nye varestrømmer.

Verdens første kommersielle anlegg for transport og permanent lagring av CO₂ under havbunnen, åpnet nettopp i Øygarden. Anlegget skal ta imot flytende CO₂ for lagring i reservoarer i Nordsjøen. I første omgang vil anlegget kunne ta imot ca. 1,5 millioner tonn CO₂ per år, med plan om å øke kapasiteten til 5 millioner tonn per år. Anlegget vil motta CO₂ fra karbonfangstanlegg i Norge og internasjonalt og det kan på sikt bli flere karbonfangstanlegg. I første omgang fraktes flytende CO₂ til anlegget med skip, men om karbonfangstanlegg blir etablert rundt om i landet, vil også landverts transportløsninger være relevante. For å implementere disse varestrømmene vil det derfor være nødvendig med en kartlegging av lokasjonen til utslippskilde, størrelse på potensiell CO₂-fangst og leveringssted. Flytende CO₂ kan etableres som en egen varegruppe eller inngå i varegruppe 34 Naturgass, og dermed benytte de samme kostnadsmodeller og transportformer som det som er tillatt for denne varegruppen.

En sirkulær økonomi vil transformere måten varer og materialer produseres på. En materialstrømsanalyse gjennomført av [Circular Norway](#), konkluderte med at bare 2,4 prosent av den norske økonomien er sirkulær, dvs. at ressursene går tilbake til kretsløpet, noe som er dårligst i Europa. Det meste av disse ressursene består av mineraler, malm, fossilt brensel og biomasse. Materialstrømsanalysen inkluderer innenriks forbruk, ressurser fra import og det som utvinnes i Norge og eksporteres. Gjennom seks ulike scenarier⁹ anslår de potensialet for redusert materialbruk, som summerer seg opp til en økning som utgjør ca. 70 millioner tonn årlig. Dette utgjør en betydelig andel av dagens transportvolumer og vil påvirke transportmønsteret betydelig. Det bør derfor vurderes inn i et UFF-rammeverk for framtids-scenarier for godstransport.

⁹ Dette er 1) sirkulær byggenæring, 2) ren energi, 3) Sirkulære matsystemer, 4) grønne transportsystemer, 5) sterk «reduse, reuse, recycle»-økonomi, 6) sirkulære skogbruks- og treprodukter.

Nye lav- og nullutslippsløsninger

For å kunne modellere ulike framdriftsteknologier fullt ut i modellen kan det bli behov for algoritmer eller nettverksbegrensninger for rekkevidden til elektriske biler i modellen. Nå løses dette ved at modellen kjøres for «rene» teknologier, der resultatfilene vektes sammen basert på antakelser om de ulike teknologienes innfasingsandel. Denne vektingen kan f.eks. gjøres ved å benytte en kjøretøydemografisk modell til framskrivningen av teknologiandeler. Et slikt verktøy finnes imidlertid bare for veitransport og ikke for skip.

Autonomi

Autonomi kan gjelde både framføring (jernbane, sjø og vei) og terminaler, og vil med stor sannsynlighet medføre reduserte kostnader, fordi en viktig kostnadskomponent som lønn for sjåfører og mannskap, reduseres eller bortfaller. Eksempel på autonome løsninger og hvordan de kan tenkes analysert i modellen:

- Nyere helautomatiserte terminalløsninger kan f.eks. modelleres som egne terminalklasser. Det må vurderes hvilke deler av terminaloperasjonen som kan gjøres autonom.
- Det er tidligere utført forenklede analyser med NGM av platooning av lastebiler, dvs. at en kjede av lastebiler koples sammen ved hjelp av automatiserte styringssystemer, der forreste bil bestemmer retning og fart for alle. Dette ble analysert ved å endre på lønns- og drivstoffkostnadene i modellen, for ulike faser av platooning.
- Førerløse lastebiler er en videreføring av platooning og kan analyseres i NGM.
- Droner kan være så mangt, f.eks. flyvende droner som leverer små godsvolum, eller selvkjørende fartøy på sjø, som Birkelandprosjektet til Yara i Porsgrunn og Askos to fartøy som går i sjøverts skytteltrafikk over Oslofjorden. I NGM kan droner implementeres som egne transportmidler med egne nettverk.

Klimaendringer og klimatilpasning

Klimaendringer vil medføre behov for økt redundans i samfunnsstruktur og logistikk, bl a forsterkninger av bygg og anlegg/infrastruktur, samt omlegging av logistikkstrategi for vareforsyning fra Just-in-time til Just-in-case og økt lagerhold. Men også en endring fra sentralisert til desentralisert produksjons- og engroslagerstruktur.

Effekt av væririsiko kan til en viss grad simuleres ved f.eks. å stenge hele strekninger, eller forlenge transporttider, men i modellen vil dette da ha effekt for hele året. Det kan med fordel gjennomgås hvilke effekter som kan være aktuelle, og utredes måter å vurdere konsekvensene av disse effektene på. Det er f.eks. et spørsmål om man bør beregne framføringstid som en vekting av tidene i åpne og stengte perioder, eller om man heller bør vekte sammen resultater fra hele modellkjøringer under de ulike forutsetningene. Transportbrukere legger i mange tilfeller vekt på pålitelighet i løsningene når de gjør sine valg, og en kan gjerne se nærmere på hvordan slike forhold kan ivaretas i modellen.

Som påpekt i avsnitt 3.5.3 vil også klimaendringer kunne medføre at Nordøstpassasjen åpnes for transport, og gjør at avstanden til det Asiatiske markedet blir kortere, noe som sannsynligvis vil øke mulighetene for næringsutvikling i nordområdene.

Økte militære behov

For at modellen også skal tilrettelegges for økte militære behov, vil også det kreve videreutvikling. Den direkte effekten av å utbedre kritiske bruer i fylkesvegnettet, vil også ha en direkte transportbruket-/transportoperatørnytte dersom det medfører at noen vegstrekninger får oppjustert bruksklasse (totalvekt, aksellast eller kjøretøylengde). I dagens modell kan dette analyseres ved å justere på hvilke kjøretøy som har tilgang til ulike vegnett (et grovt skille er mellom singel lastebil, vogntog eller modulvogntog), eller man kan justere på hva som er tilgjengelig nyttelast for noen kjøretøygrupper, men det virker

globalt i modellen. Man kan tenke seg en utvikling i retning av at det er en interaksjon mellom de ulike bruksklassene og hva som er tilgjengelig nyttelast, men det vil kreve modellutvikling. Nytteverdien av en slik utvikling vil være bredere, enn bare ut fra militære behov, i form av en generell nytteberegning av utbedring av flaskehalser i vegnettet.

Ett annet punkt under militære behov er totalberedskapsperspektivet, dvs at man oppjusterer behovet for beredskapslagre av kritiske varer. Oppjusteringen vil medføre økte volumer over en begrenset periode, men det som kanskje betyr mer i modellsammenheng er dersom dette har implikasjoner for lokasjoner til forsyningslinjene.

Ytterligere ett punkt som er nevnt, er om modellen skal benyttes til analyser av alternative forsyningslinjer i et nordisk perspektiv. En slik anvendelse av modellen vil medføre behov for mer detaljert soneinndeling i Sverige og Finland.

3.6 NOREG 2, en regional generell likevektsmodell

Makroøkonomiske utviklingsbaner er svært viktige i all form for framsynsmetodikk, både for utarbeidelse av referansebanen og for alternative fremtidsbilder. Norge har vært et foregangsland innen makroøkonomisk modellering hvor generelle likevektsmodeller har spilt en sentral rolle i norsk langsiktige økonomisk planlegging siden 1960-tallet. Finansdepartementet legger hvert fjerde år fram perspektivmeldingen, som er en stortingsmelding som drøfter langsiktige problemstillinger for norsk økonomi, og hvor makroøkonomiske modeller blir benyttet til å beregne framtidige utviklingsbaner for sentrale størrelser i økonomien. Fram til og med *Perspektivmeldingen 2013*, ble MSG-modellen (Multi-sectoral growth model) benyttet til å beregne utviklingsbanene for økonomien, mens DEMEC-modellen har vært benyttet i *Perspektivmeldingene 2017, 2021 og 2024*. Begge disse modellverktøyene er numeriske generelle likevektsmodeller (CGE-modeller) for langsiktige framskrivninger av norsk økonomi, og felles for modellene er at framskrivingene er på nasjonalt nivå, hvor DEMEC-modellen er noe grovere i sin sektorinndeling enn hva som var tilfellet i MSG.

TØI har utviklet numeriske generelle likevektsmodeller som har en geografisk dimensjon (SCGE-modeller) siden tidlig 2000-tall. Først gjennom utviklingen av PINGO-modellen (Ivanova mfl. 2002, Vold & Jean-Hansen 2007, Hansen 2015, Hansen & Johansen 2016), og senere gjennom utviklingen av NOREG 2-modellen¹⁰.

NOREG 2 er en numerisk generell likevektsmodell med en geografisk dimensjon som utvikles i det 10-årige forskningsprosjektet *A Regional General Equilibrium Modelling System*, finansiert av Norges forskningsråd og Kommunal- og distriktsdepartementet gjennom Norges forskningsråds DEMOS-program. NOREG 2 utviklingen ledes av TØI og partnere i utviklingsprosjektet er Vista Analyse, SSB og Menon Economics.

3.6.1 Kort om SCGE-modellen NOREG 2

NOREG 2 er en regional SCGE-modell for økonomisk utvikling i norske fylker og kommuner og hvor den geografiske dimensjonen muliggjør detaljerte regionale eller lokale analyser av de langsiktige konsekvensene av politiske virkemidler. Modellen har et fleksibelt oppsett for både regioner og næringer, hvor kommune er minste regionale byggestein og næringsinndelingen er begrenset til aggregater av A64-næringer.

Det er tre typer aktører i NOREG 2-modellen: husholdninger, bedrifter og myndigheter. Svært forenklet forklart så mottar husholdningene inntekter fra primærfaktorene arbeidskraft og kapital, bedriftene

¹⁰ En nærmere beskrivelse av modellutviklingen og det 10-årige forskningsprosjektet finnes på hjemmesiden til NOREG 2: [Prosjekt: NOREG2 - Transportøkonomisk institutt \(toi.no\)](https://prosjekt.noreg2-transportøkonomiskinstitutt.toi.no)

maksimerer profitten, mens offentlig sektor samler inn skatter og avgifter, mottar kapitalinntekter fra offentlige næringer og deler ut subsidier og stønader til bedrifter og husholdninger. Myndighetene opptrer som én nasjonal aktør. Det betyr at skatter og avgifter samles inn til én nasjonal myndighet.

Det er én representativ husholdning i hver region, hvis atferd og preferanser er kalibrert til å representere hele regionens befolkning. Det betyr imidlertid ikke at husholdningene er like på tvers av regioner. Størrelsen på arbeidsmarkedene i regionene er ulike og sammensetningen av utdanningsnivå er ulike i de forskjellige geografiske sonene. Det er i tillegg geografiske forskjeller i disponibel realinntekt mellom regionene i modellen. Ulik industrisammensetning i de ulike regionene i modellen forsterker de geografiske forskjellene mellom de representative husholdningene på tvers av regioner.

I hver region er det én representativ bedrift i hver næring som minimerer kostnadene. Vi antar at hver næring kun produserer én varetype. Det samme produksjonsnivået kan oppnås ved forskjellige kombinasjoner av innsatsfaktorer, og til hvert produksjonsnivå antar vi at bedriftene velger kombinasjoner av innsatsfaktorer på en slik måte at produksjonskostnaden minimeres. Dette gir den kostnadsminimerende mengden av kapital, arbeidskraft, energi- og innsatsvarer som skal til for å produsere én enhet av varen. Hvor mange enheter som blir produsert blir deretter bestemt ut fra profittbetingelsen til bedriftene.

Produktfunksjonen er kalibrert slik at de observerte mengdene av innsatsfaktorer i basisåret løser produsentenes kostnadsminimeringsproblem, gitt produksjonsmengden som er observert i basisåret. Ettersom relative priser på innsatsvarer endres, vil bedriftene endre sammensetningen av faktor- og vareinnsatsen, basert på elastisiteter.

To separate modellkomponenter er viktige for å forstå sammenhengene i NOREG 2-modellen. Disse modellkomponentene er det regionale næringskryssløpet og de interregionale godsmatrisene. Det *regionale næringskryssløpet* utgjør kjernen av NOREG 2-modellen. Kryssløpet viser sammenhengen mellom produksjonen i én næring og etterspørselen etter innsatsfaktorer i andre næringer. Det knytter vareinnsatsen til produksjonsverdien hvor man følger tilgangen fra innenlandsk produksjon og import ut til de ulike anvendelsene, som sluttlevering (eksport, konsum, investering) eller til kryssleveringer i form av produktinnsats tilbake i produksjonen. Det regionale kryssløpet gjør det mulig å identifisere effektene av tiltak på spesifikke næringer i et gitt geografisk område hvor det er kryssløpet som gjør det mulig å følge effekter av tiltak både forover og bakover i verdikjeden. De *interregionale godsmatrisene* gir handelsmønsteret per næring og per sonepar i modellen. Denne handelsmatrisen gjør det mulig å følge ringvirkningene av et tiltak utover i geografien ved at den inkluderer en geografisk dimensjon i produksjonsstrukturen i hver næring. Godsmatrisene i NOREG 2 er basert på Nasjonal Godsmodell (NGM) og viser hvordan næringene i de ulike modellsonene henger sammen gjennom handel.

Der hvor DEMEC-modellen (og tidligere MSG-modellen) produserer nasjonale utviklingsbaner for norsk økonomi som gir tallgrunnlaget for Regjeringens *Perspektivmelding*, så gir NOREG 2 - modellen regionale vekstbaner med en relativt detaljert sektorinndeling av økonomien. Regionale utviklingstrekk med NOREG 2 for Perspektivmeldingen 2017 ble publisert i Rosnes mfl. (2020), mens Perspektivmeldingen for 2021 er publisert i Rosnes mfl. (2023). I utarbeidelsen av regionale utviklingsbaner benyttes de samme modellforutsetningene som Finansdepartementet benytter i sine nasjonale CGE-modellverktøy, og den regionale SCGE-modellen kalibreres slik at modellresultatene i aggregat treffer utviklingsbanene i Regjeringens perspektivmelding. TØI har jevnlig utarbeidet godsprognoser til NTP-arbeidet. De næringsvise regionale utviklingsbanene fra TØI sine SCGE-modeller danner helt sentrale forutsetninger for disse godsprognosene.

3.6.2 Analysemuligheter med likevektsmodellen NOREG 2

NOREG 2 tilføyer den regionale dimensjonen til den generelle likevektsanalysen. I NOREG 2 tas det hensyn til at produksjon og konsum foregår på ulike steder i landet, og at transportkostnader utgjør en del av de totale varekostnadene. Dette betyr at interaksjonene mellom aktører og markeder på ulike

geografiske lokaliteter også blir modellert. Dermed utvides analysene til å omfatte regionale eller romlige aspekter av økonomien, noe som gir en dypere forståelse av hvordan økonomiske endringer påvirker ulike deler av landet ulikt, og hvordan varestrømmene påvirkes av ulike politiske tiltak.

NOREG 2 er utviklet for scenarioanalyser av langsiktige økonomiske problemstillinger, som næringsutvikling og regional utvikling, strukturpolitiske tiltak, politikkendringer, offentlig virkemiddelbruk eller eksogene sjokk i økonomien. NOREG 2 muliggjør simulering av regionale virkninger av for eksempel endring i skatter, avgifter og subsidier, endrede transportkostnader, regionale utviklingsprogram eller andre målrettede nasjonale eller regionale tiltak. Beslutningstakere kan bruke simuleringene til å vurdere effektiviteten av ulike politikk-alternativer, identifisere potensielt utilsiktede regionale og nasjonale konsekvenser av et tiltak og bidra til mer målrettet virkemiddelbruk gjennom økt forståelse av hvordan økonomiske konsekvenser kan slå ulikt ut på tvers av regioner.

Eksempelvis antas det i perspektivmeldingen for 2024 (Meld. St. 31) at økte utgifter til forsvar fram mot 2036 kommer til å bli like høye som de økte utgiftene til folketrygden og helse-, omsorgs- og utdannings-tjenester til sammen (side 15). Dette vil medføre store vridninger i ressursbruk i økonomien: for det første på tvers av næringer, og for det andre mellom regioner. Fordi de nye arbeidsplassene i forsvarssektoren ikke kommer til å være jevnt fordelt mellom regioner, vil det også innebære at et stort antall personer må flytte. NOREG 2 er et rammeverk som muliggjør langsiktige analyser av både direktevirkninger og økonomiske ringvirkninger av denne typen strukturendringer - både effekten av endring i den regionale næringsstrukturen og effekten av demografiske endringer.

I forbindelse med NTP 2025-2036 benyttet vi NOREG 2 til framskrivingen av innenlandsk godstransport (TØI-rapport 1918/2022) og til å utarbeide alternative utviklingsbaner for transportsektoren som hadde som målsetting å nå de fastsatte klimamålene for 2030 (TØI-rapport 1957/2023). I begge disse analysene ble NOREG 2 benyttet sammen med Nasjonal godsmodell. I beregning av klimabalanene benyttet vi NOREG 2 for å ta hensyn til at endringer i transportkostnader og økt CO₂-avgift har virkninger i større deler av økonomien og dermed påvirker handelsmønsteret, både via økte avgifter på produksjon som genererer CO₂, men også via økte transportkostnader. Dette er viktige analyseområder hvor vi, på tross av at modellen allerede har blitt benyttet til analyser, ser at NOREG 2 trenger utvikling og tilpasninger for å kunne analysere problemstillingene på en tilfredsstillende måte.

3.6.3 Sterke og svake sider

Den regionale dimensjonen er den største styrken til NOREG 2 modellen. Det finnes nasjonale modeller for Norge som kan benyttes til analyser av makroøkonomiske konsekvenser av klimaomstilling, men ingen andre modeller enn NOREG 2 kan svare på hvordan den regionale økonomiske utviklingen påvirker lokale, regionale og nasjonale utslipp og næringsstruktur, og hvordan klimapolitikk påvirker økonomien i fylker og kommuner, og derigjennom handelsstrukturen og godsflyten internt og mellom regionene. Klimaomstilling vil påvirke både transportkostnadene og næringsstrukturen. Den regionale dimensjonen i NOREG 2 gjør at vi både kan analysere hvordan næringsstrukturen vil bli påvirket av endrede transportkostnader og hvordan transportmønsteret blir påvirket av endret næringsstruktur.

En styrke i NOREG 2 er modellens sterke mikroøkonomiske teorifundament, hvor atferdsrelasjonene beskriver konsument- og produsentatferden i tråd med etablert mikroøkonomisk teori. Modellen gir substitusjonsmuligheter mellom innsatsfaktorene, slik at bedriftene velger kombinasjoner av innsatsfaktorer på en slik måte at produksjonskostnaden minimeres. Dette gir den kostnadsminimerende mengden av kapital, arbeidskraft, energi og innsatsvarer som skal til for å produsere én enhet av varen. Hvor mange enheter som blir produsert blir deretter bestemt utfra profittbetingelsen til bedriftene. Endringer i de relative prisene på innsatsfaktorene, endrer sammensetningen av faktor- og vareinnsatsen. Arbeidskraften i modellen er differensiert etter utdanningsnivå, hvor det antas at arbeidskraft med ulikt utdanningsnivå til en viss grad kan erstatte hverandre. Blant energivarene i produksjonen er det substitusjonsmuligheter mellom elektrisitet, petroleum og raffinerte petroleumprodukter.

Vi tilfører realisme i de regionale befolkningsframskrivingene ved at arbeidsstyrken i modellen kan endre seg endogent som følge av flytting mellom regionene. Grunnforutsetningen i de regionale arbeidsstyrkene i modellen er i utgangspunktet eksogent bestemt til å følge SSB sine regionale befolkningsframskrivinger for relevante aldersgrupper og justert for sysselsettingsraten. I tillegg til denne eksogene utviklingsbanen for de regionale arbeidsstyrkene, modelleres regionale flyttestrømmer basert på forskjeller mellom regionenes lønnsutvikling. Dette gir effekter på den regionale befolkningssammensetningen av offentlig virkemiddelbruk utover SSB sine regionale befolkningsbaner. Foreløpig mangler modellen full mobilitet i arbeidsmarkedet. Flytting mellom regioner er implementert, men det tiltales ikke pendling mellom modellsonene. Dette er uproblematisk for fylkesvise makroøkonomiske framskrivinger, men urealistisk dersom man ønsker å bruke modellen til å analysere regionale effekter av tiltak i transportsystemet. En modellutvidelse hvor pendling inkluderes, vil tilføye ytterligere realisme i husholdningenes atferdsrelasjoner og bidra til sterkere spredning av tiltakenes ringvirkninger.

Alle modeller har sine fokusområder hvor det er bestrebet en høyere grad av realisme enn hva det er for andre områder. Den regionale dimensjonen i offentlig sektor, samt utenrikshandelen er utviklingsområder i NOREG 2 som fram til nå har vært gjenstand for relativt sett mindre fokus. Utenrikshandelen i NOREG 2 følger standard metodikk for modellering av import og eksport i CGE-modeller for små åpne økonomier. I modellen blir verdien av import og eksport påvirket av verdensmarkedsprisen og valutakursen. I tråd med antakelsen om at Norge er en liten åpen økonomi som ikke påvirker prisene på verdensmarkedet, så antas verdensmarkedsprisen som eksogent gitt. Valutakursen er endogen, dvs. flytende valutakurs. I modellen er Norges handelspartnere modellert som ett stort utland, og det skilles verken på mottakerland for eksport eller avsenderland for import, noe som er standard modellering i denne typen modeller. Dette er uproblematisk for regionaløkonomiske analyser av næringsstruktur, fordi tilbuds- og etterspørselsfunksjonene fra utlandet uansett er eksogene i modellen. Men det betyr at import- og eksportstrømmer mangler den geografiske dimensjonen.

3.6.4 Behov og muligheter for videreutvikling av NOREG 2

På kort sikt kan det gjøres tilpasninger i NOREG 2 som vil bidra til styrkede utviklingsbaner i tråd med de sentrale utviklingstrekkene som skisseres fram imot 2050, hvor det tas hensyn til målene i klimaloven og målsettingen om næringslivets konkurransekraft.

Modelltilpasning for full mobilitet i arbeidsmarkedet og en sterkere kobling til RTM/NTM6

Det kan for mange analyseformål være ønskelig med en sterkere kobling mellom likevektsmodellen og transportmodellsystemet. I dag er det en direkte kobling til NGM (varestrømsmatrisene fra NGM inngår som inngangsdata i NOREG 2), mens det mangler en direkte kobling til persontransportsystemet. Ved å innføre full mobilitet i arbeidsmarkedet i NOREG 2, oppnår vi denne koblingen og kan i prinsippet benytte NOREG 2 til analyser av alle tiltak som påvirker gods- eller persontransporten.

SCGE-modeller er velegnet til analyser av utviklingsbaner for tiltak som skaper ringvirkninger i arbeidsmarkedet. Hvor folk bor og hvor de jobber påvirkes av politikktutforming. Per i dag kan NOREG 2 benyttes iterativt med NGM ved at resultater fra NOREG 2 benyttes som alternative inngangsdata til NGM og bidrar da til alternativbaner for transportmiddelfordelt godstransport. Ved inkludering av pendling i arbeidskraftsmobiliteten i NOREG 2, kan NOREG 2 i større grad benyttes iterativt også med persontransportsystemet ved at modellresultatene fra likevektsmodellen kan utnyttes i alternativbaner i RTM/NTM6 med endret attraktivitet for destinasjonsvalgene.

Modelltilpasninger for analyser av klimaomstilling

Likevektsmodellen NOREG 2 inneholder per i dag ingen eksplisitt modellering av klimagasser (eller andre utslipp) eller en spesifikk modellering av klimapolitiske virkemidler for å redusere klimagassutslippene (CO₂-avgifter, CO₂-kvoter, osv.). Det er stort behov for analyser av klimapolitikk – og nødvendig klimapolitikk vil resultere i samfunnsendringer som vil påvirke både næringsstrukturen i Norge, den geogra-

fiske fordelingen av næringer og fremtidig transportomfang og behov. For å fullt ut møte transportetatenes analysebehov fram mot neste NTP, ser vi noen nødvendige utviklingspunkter for at NOREG 2-modellapparatet skal kunne benyttes til fremsynsanalyser av klimaomstilling og eksportrettet grønn vekst.

Norge har mål om å bli et lavutslippssamfunn i 2050, og i henhold til Parisavtalen skal klimagassutslippene reduseres med minst 55% i 2030 i forhold til 1990. For at disse målene skal kunne nås, kreves det omfattende omstilling i alle sektorer av økonomien. Samtidig har Regjeringen gjennom initiativene *Hele Norge eksporterer* og *Grønt industriløft* utpekt syv satsningsområder (havvind, batterier, hydrogen, CO₂-håndtering, prosessindustri, maritim industri og skog- og trenæring og øvrig bioøkonomi) for omstilling av industrien som følge av utfasing av petroleumssektoren. Målet med denne eksportstrategien er at fastlandseksporten skal øke, eksisterende industrinæringer avkarboniseres og nye grønne næringer skal vokse frem.

Utslipp av klimagasser skyldes både bruk av energivarer som forårsaker utslipp (bensin, diesel, osv.) og prosesser i industrien (for eksempel aluminiumsproduksjon, kjemisk industri, sement, osv.). I modellering av utslipp bør det skilles mellom disse to hovedtypene av utslipp. Energirelaterte utslipp skal knyttes til bruken av energivaren, mens prosessutslipp knyttes til produksjonsnivået i den relevante næringen. Selv om energibruken i prosessindustrien i stor grad dekkes av elektrisitet, som kommer fra fornybare energikilder, er det likevel betydelige utslipp knyttet til fossile innsatsvarer i selve produksjonsprosessen som i liten grad kan renses. Klimaomstillingen innebærer også en storstilt elektrifisering av transportsektoren. I modellen innebærer det en overgang fra fossile brenslers til elektrisitet (og kanskje hydrogenbaserte drivstoff), med tilhørende endringer i både utslipp og kostnader.

Tilrettelegging av NOREG 2 for analyser av klimaomstilling handler om innhenting og bearbeiding av relevante data, kalibrering av utslipp og avgifter, og tilpasninger til klimaanalyser i modellens ligningssett. Konkret innebærer det:

- Utslipp fra hver næring knyttet til bruken av fossile energivarer
 - Knytte utslippene fra en næring til næringens bruk av fossile energivarer
 - Skille mellom næringer innenfor og utenfor ETS, for å muliggjøre analyser av ulike virkemidler.
- Utslipp fra prosesser i relevante industrier
 - Beregne næringsspesifikk utslippsintensitet basert på historiske data
- Relevante skatter/ avgifter for hver næring

En forbedret modellering av skatte- og avgiftsnivået i modellen vil også gi mulighet for analyser av samtidig virkemiddelbruk, hvor avgiftslettelser i andre sektorer i økonomien kan minske de negative effektene klimatiltakene vil kunne ha på realøkonomien. Isolert sett vil et klimapolitisk virkemiddel med en høy utslippspris per CO₂-ekvivalent eksempelvis kunne gi en reduksjon i BNP. Dette kan motvirkes med avgiftslettelser i andre deler av økonomien. Den regionale konsekvensen av denne typen samspill i politikkkutformingen vil kunne analyseres ved bruk av NOREG 2, hvor ulikheter i den regionale nærings-sammensetningen på tvers av regioner vil gjøre at politikkkutformingen slår ulikt ut i ulike deler av landet. Slike analysemuligheter vil bidra til økt forståelse av hvordan økonomiske konsekvenser av virkemiddelbruk slår ulikt ut på tvers av regioner og mer målrettet virkemiddelbruk.

Tilrettelegging av NOREG 2 for bedre analyser av klimaomstilling, har direkte innvirkning på analysene som kan utføres med Nasjonal godsmodell. Disse to modellverktøyene kan benyttes iterativt med hverandre, der NGM kan analysere virkninger på transportomfang, transportmiddelfordeling og CO₂-utslipp fra godstransporten basert på framtidsscenarioer fra NOREG 2.

Utenrikshandel og eksportrettet grønn vekst

I samspill med tilretteleggingen av NOREG 2 for analyser av klimaomstilling, ser vi synergieffekter ved en forbedring av modelleringen og datagrunnlaget for utenrikshandelen i modellen. Dette vil blant annet bedre analysemulighetene for utviklingsbaner hvor det innføres virkemidler for eksportrettet grønn

næringsvekst. Vi vet at eksporten fra Norge er geografisk variert og reflekterer ulike sammensetninger av næringer, industriell styrke og naturressurser som finnes i de ulike delene av landet. Det eksisterer imidlertid ikke offisielle data på kommunalt fordelt eksport etter næring. Her ønsker vi å undersøke mulighetene for å utnytte datakildene som ligger til grunn for Eksportmeldingen, en årlig publikasjon fra Menon Economics for NHO, LO, Innovasjon Norge, Eksportfinansiering Norge og Nasjonalt eksportråd, og kombinere disse datakildene med grunnlagsdataene for utenrikshandelen i arbeidet med varestrømsmatrisene i NGM.

I tilretteleggingen av NOREG 2 for modellering av eksportrettet grønn vekst, ønsker vi å

- Gjennomgå de næringsspesifikke elastisitetene som benyttes til å fordele eksporten i modellen
- Utnytte metodikk for estimering av kommunespesifikk og næringsfordelt eksport fra Menon sin eksportmelding – her må den kommunefordelte eksporten reestimeres for å fjerne hovedkontoreffekter
- Kombinere estimater fra Eksportmeldingen med data for eksport fra Nasjonal godsmodell
- Gjennomgå og eventuelt implementere alternative formuleringer av utenrikshandelen i modellen, inkludert å utforske muligheten for oppdeling av utenrikssonen i ulike eksport/importregioner.

Sammenstilling av datakilder og utvikling av et datasett for kommunefordelt eksport etter næring vil kunne anvendes som datagrunnlag i NGM i tillegg til grunnlagsdata for utenrikshandelen i NOREG 2.

3.6.5 Oppsummerte analysemuligheter og tilpasninger i NOREG 2

I denne rapporten har vi beskrevet 3 utviklingspunkter for tilpasninger i likevektsmodellen NOREG 2:

1. Sterkere kobling til RTM/NTM6
2. Modelltilpasning for analyser av klimaomstilling
3. Utenrikshandel og eksportrettet grønn næringsvekst

Dette er modelltilpasninger som kan utføres på kort sikt og hvor utviklingspunktene kan gjennomføres i løpet av første halvår 2025.

De foreslåtte tilpasningene vil gi styrkede regionale makroøkonomiske utviklingsbaner i tråd med de sentrale utviklingstrekkene som skisseres fram imot 2050, hvor det tas hensyn til målene i klimaloven og målsettingen om næringslivets konkurransekraft.

En utvidelse av NOREG 2 til å kunne analysere klimaomstilling, vil gi en modell som blant annet kan benyttes til å:

- Analysere reduksjon av CO₂-utslipp ved ulike virkemiddelbruk
- Analysere de regionale konsekvensene av klimatiltak
- Makroøkonomiske konsekvenser av klimaomstilling
- Effekt på norsk næringsstruktur og grønn eksportrettet næringsvekst
- Analyser av effekten på transporttetter spørsmål av ulike virkemidler i klimapolitikken
- Analyser av effekten på transporttetter spørsmål av virkemidler rettet mot stimulering av eksportrettet grønn næringsvekst.

De tre siste kulepunktene vil resultere i alternative vekstbaner som kan knyttes til varestrømsmatrisene i NGM for videre scenarioanalyser av effekten på transportmiddelfordeling og transportomfang.

For en sterkere kobling til RTM/NTM, foreslås det innføring av full mobilitet i arbeidsmarkedet ved eksplisitt modellering av arbeidspending i NOREG 2.

Følgende tabell gir en oppsummering av analysemuligheter i NOREG 2 ved ulike utviklingstrekk, sammen med en kvalitativ vurdering med fire fargekoder (vist under tabellen).

Tabell 3.4: Oppsummering av ulike utviklingstrender og eksempler på hva som kan analyseres i NOREG 2, samt informasjonsbehov og/eller tilrettelegging for analyse

Eksempler på hva som kan analyseres	Vurdering av modellens egnethet
Økt vektlegging av militære behov – Endring i arbeidsplasser – Endringer i bosatte – Ringvirkninger av økt aktivitet i sektoren – Makroøkonomiske effekter	– Konkretisering av regionale endringer i bosatte og arbeidsplasser – Eventuelle endringer i infrastruktur (som påvirker reisetider eller priser) – Implementering av pendling i NOREG 2 og tettere integrasjon med NTM/RTM – Skille ut forsvarssektoren som egen næring
Klimaendringer og klimatilpasning av infrastruktur – Effekter på transporttettersspørsmålet av omstilling til et lavutslippssamfunn – Makroøkonomiske effekter av klimaomstilling – Regionale effekter av klimatilpasning – Utviklingsbaner for regional næringsvis økonomi gitt klimaomstilling – Regionale ringvirkninger av klimatiltak i transportsektoren – Næringsvis, regionale og makroøkonomiske effekter av samtidig virkemiddelbruk – Iterative analyser med NGM	– Tilpasninger i NOREG 2 omhandler i stor grad innhenting og bearbeiding av relevante data: – Etablere data for utslipp fra bruk av fossile energivarer – Skille mellom kvotepliktig og ikke-kvotepliktig sektor – Utslipp fra prosessindustrien – Beregne næringsvis utslippsintensitet – Implementere relevante skatter og avgifter – Kalibrering av utslipp
Klimatilpasning av infrastruktur – Ikke direkte relevant for modellanalyse, så sant ikke infrastrukturen endres, f.eks. forbedring i en transportkorridor som gir endrede varestrømmer og/eller pendlingsstrømmer. Et slikt scenario vil kunne gi nye makroøkonomiske utviklingsbaner og regionale ringvirkninger	– Implementering av pendling i NOREG 2 og en tettere integrasjon med NTM/RTM
Sterkere vekt på å unngå tap av natur – Ikke direkte relevant for modellanalyse – Strammere styring av arealpolitikken, i form av hvor boliger og arbeidsplasser lokaliseres – Effekter som eventuelt gir endrede varestrømmer fra NGM og/eller – endrede pendlingsstrømmer i RTM/NTM	– Konkretisering av endring i arealbruk, i form av inputfiler for bosatte og ulike arbeidsplasser i sonene. – Implementering av pendling og en tettere integrasjon med RTM/NTM.
Mer elektrifisering - Innfasing av ny teknologi (inkludert nye mobilitetsløsninger) - Økt bruk av og endret tilgjengelighet til bærekraftig drivstoff – Dersom dette medfører endringer i varestrømmer (NGM) og/eller pendlingsstrømmer (NTM/RTM), kan de makroøkonomiske effektene analyseres i NOREG 2, inkludert næringsvis regionale vekstrater.	– Implementering av pendling i NOREG 2 og en tettere integrasjon med NTM/RTM.
MÅL om næringslivets konkurransekraft – Regionale og sektorvis effekter av politiske tiltak – Effekter på transporttettersspørsmålet av næringsrettede virkemidler	– Gjennomgå formuleringene av utenrikshandelen i modellsystemet
Grønn næringsomstilling – Eksportrettet grønn næringsvekst – Samtidig virkemiddelbruk for å stimulere grønn næringsvekst og opprettholdning av næringslivets konkurransekraft	– Etablere data på kommunefordelt sektorvis eksport – Kombinere data fra eksportmeldingen med data fra NGM – Gjennomgå næringsspesifikke eksportelastisiteter i NOREG
De vesentligste effekter kan tas med gjennom inndata som i dag framskrives på brukbar måte.	
Betydelig usikkerhet om hvordan trenden omsettes til inndata. Det krever nye analyser utenfor modellene.	
Krever vesentlige endringer i modellenes struktur og kalibrering. For eksempel tilføyelse av nye valgmuligheter.	
Håndteres bedre med utvikling av andre modeller. Mulig overføring av resultater til etablerte transportmodeller.	

3.7 Modeller for kjøretøyparken

Kjøretøyparken er egnet for backcasting, både fordi flere eksisterende klimapolitiske mål retter seg spesifikt inn mot sammensetningen av kjøretøy i fremtiden, og fordi kjøretøyparken tar lang tid å påvirke: En personbil vil typisk være i bruk i 15-20 år (Oslo Economics, 2024), mens et nyttekjøretøy har noe kortere brukstid. Dette taler for at virkemidler for å påvirke nybilsalget *senest* burde innføres 15-20 år i forkant av målene som er satt for kjøretøyparken. Videre har kjøretøyparkens størrelse og sammensetning direkte innvirkning på både transportarbeid og klimagassutslipp i veisektoren. Samtidig er framtidens kjøretøypark forutsigbar, fordi den i hovedsak kun påvirkes av fire forhold: nybilsalg, vraking, brukstid og eksport.

I dagens persontransportmodeller er det i «standardoppsettet» lagt til grunn en utvikling i kjøretøyparken som er i tråd med utviklingen gitt i Nasjonalbudsjettet 2023. I NB23 angis forventet andel av elbiler i nybilsalget, mens Miljødirektoratet har gjort beregninger av hvordan dette vil slå ut i fordelingen av kjørte kilometer med ulike drivlinjer framover, fortsatt på nasjonalt nivå. Sintef har bearbeidet dette videre på geografisk nivå, slik at fordelingen på kjørte kilometer pr kommune vil variere ut fra hvor langt kommunene har kommet i elektrifisering til nå. Det er videre laget et opplegg for å ytterligere fordele ned på grunnkretser ut fra statistikk for hvor bilene er registrert, og også en enkel modell der fordelingen i kjøretøyparken i en sone kan endres dersom f.eks. kostnadene ved bilbruk endres i favør av en av drivlinjene (f.eks. dersom det innføres en bomring i et område med betydelig lavere takster for elbil enn for biler med forbrenningsmotor). Denne siste er ikke testet ut og tatt i bruk i konkrete analyser. For lastebiler, der elektrifiseringen er kommet vesentlig kortere, foreligger ikke tilsvarende geografiske fordelinger. Det er dessuten mindre relevant med kommunale fordelinger, fordi lastebilene som oftest dekker et mye større geografisk marked enn hvor de er registrert.

Dagens transportmodeller er ikke egnet til å studere alle effekter på bilpark og bilhold av alle tiltak som påvirker dette (se bl.a. Halse m.fl., 2024; Isaksen og Johansen, 2021). Ved endringer i transporttilbud og/eller transportkostnader vil transportmodellene beregne endringer i andelen av befolkningen i et område som har full eller delvis biltilgang (Rekdal og Hamre, 2024). Dette innebærer implisitt en endring i størrelsen på bilflåten. Men effekter på *sammensetningen* av bilflåten blir ikke fanget opp. En illustrasjon av dette er transportmodellberegningene for konsept K1 Sc1 fra Konseptvalgutredningen om veibruksavgifter (Steinsland m.fl., 2022), som innebar en distanseavhengig avgift for elbiler på 29 øre per kilometer. Dette førte til en reduksjon i elbilkilometer i storbyene på 5,2 prosent. Transportmodellberegningene viser imidlertid at antall eksosbilkilometer er uendret. I virkeligheten ville man forventet at eksosbilkilometer og dermed klimautslipp øker når elbilkjøring blir dyrere, fordi det gjør eksosbiler relativt mer konkurransedyktige (Johansen m.fl., 2023). Dette konkurranseforholdet mellom de to biltypene håndteres ikke i dagens transportmodeller, slik at denne typen mekanismer som virker gjennom bilhold er ikke fanget opp.

Dersom transportmodellene på en realistisk måte kunne dekomponert effekten av tiltak mellom bilholdseffekter (inkludert avveiningen mellom eierskap av ulike framdriftsteknologier) og kjøring per kjøretøy, kunne de i større grad blitt brukt til å vurdere virkninger for bilflåten. Dette ville imidlertid vært en arbeidskrevende endring å implementere: Dels på grunn av omfattende modellutviklingsarbeid, og dels fordi det vil kreve et mer oppdatert kunnskapsgrunnlag når det gjelder effektene av brukskostnader på bilhold og bilkjøp.

Mer spesialiserte modeller for kjøretøyparken kan estimere hvordan bilholdet responderer på ulike tiltak, og kan brukes til framskrivinger og scenarioutvikling. TØI har i løpet av de siste par tiår etablert og stadig videreutviklet en modell for framskriving av kjøretøyparken i Norge, kalt BIG (Fridstrøm og Østli, 2017). I BIG blir etterspørselen etter nye personbiler i Norge analysert ved hjelp av en økonometrisk nybilkjøpsmodul. I et pågående arbeid har denne modulen nylig blitt oppdatert, med salgsdata til og med 2023. Nybilkjøpsmodulen er basert på praktisk talt fullstendige data om alle førstegangsregistrerte nye personbiler i Norge. De ulike bilmodellvariantene er beskrevet på svært detaljert nivå, idet salget

hvert enkelt år er fordelt på ca. 2000 ulike varianter i gjennomsnitt. Ved å simulere hypotetiske endringer i modellens uavhengige variable kan vi estimere hvordan etterspørselen avhenger av prisene på biler og energi, og av endringer i avgiftssystemet eller kjøretøyteknologien. Videre kan BIG-modellen brukes til å simulere den demografiske utviklingen til bilparken. BIG-modellen kan imidlertid ikke brukes til å beregne endringer i kjøring per bil som følge av endringer i for eksempel brukskostnader.

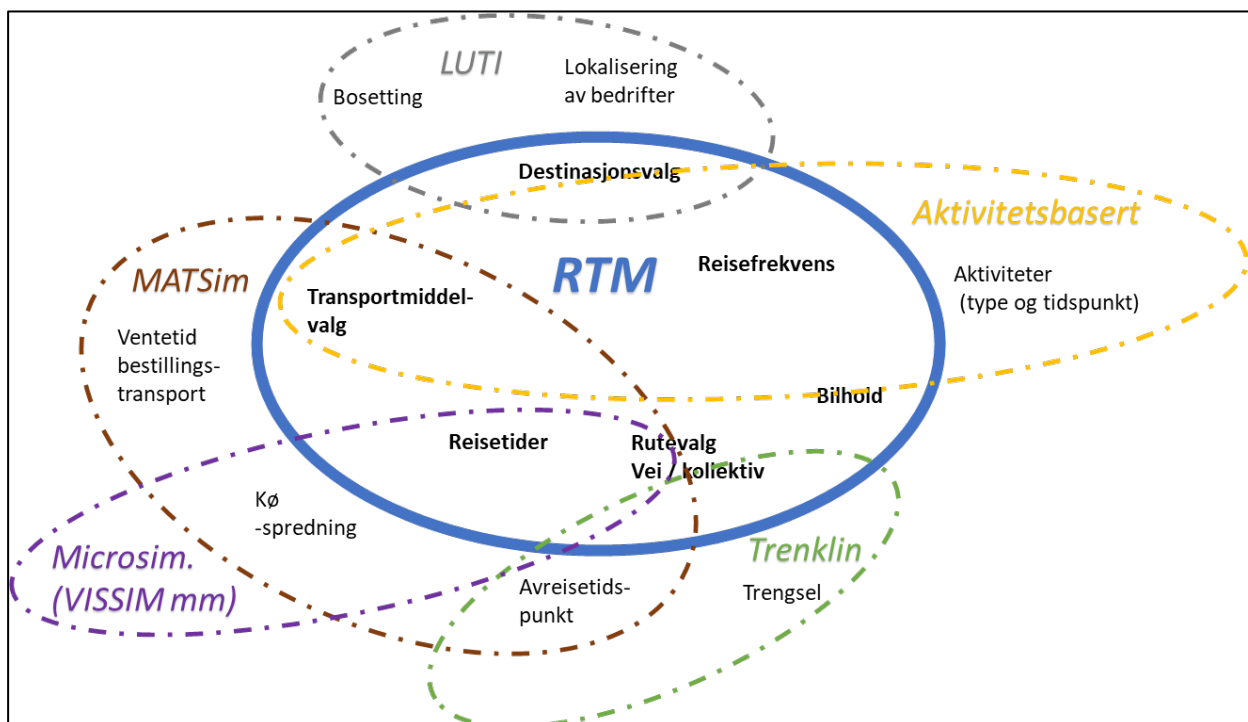
For lastebiler er tilgangen til data om nybilpriser fraværende slik at det ikke har vært mulig å utvikle en økonometrisk bilkjøpsmodul for disse. Både lastebiler og varebiler har hatt egne delmodeller i BIG, der spesielt delmodellen for lastebiler har blitt manuelt framskrevet. I et prosjekt for Enova er det utviklet en alternativ bilgenerasjonsmodell for varebiler og lastebiler (Hovi og Strømstad, 2024) som har en enklere framskrivningsmetodikk, bl.a. basert på trendutviklingen i nybilsalget og med mulighet for å angi de ulike drivlinjenes markedsandeler i noen framtidsår. Modellen kan anvendes som et supplement til NGM, til å vekte teknologispesifikke scenarier sammen og som hjelp i utslippsberegninger.

Det finnes så langt vi kjenner til ikke tilsvarende framskrivningsmodeller for andre transportformer enn for kjøretøy for vei.

4 Andre typer transportmodeller og tilnærminger

4.1 Oversikt over andre transportmodeller

I dette kapitlet diskuterer vi andre modeller og tilnærminger som kan brukes til en alternativ predikering, i første rekke for persontransport, av både elementer som fanges opp i RTM og elementer som ikke fanges opp der. Figur 4.1 er et forsøk å visualisere dette.



Figur 4.1: Endogene elementer i ulike modeller / modelltyper.

Elementer i figur 4.1 som ligger utenfor den tykke blå sirkelen predikeres ikke i standardopplegget i RTM.¹¹ Elementer kan være tilpasningsmuligheter for personer, f.eks. å endret avreisetidspunkt eller endret bosted, eller sentrale mekanismer i modellen, f.eks. at trengsel på togene øker med antall passasjerer og at trengsel er en kostnad som beslutningstakerne tar hensyn til. Elementer kan også være kontekstvariabler som «aktiviteter», som gir en bakgrunn for opphav av reisene.

¹¹ Noen presiseringer: a) Det finnes funksjonalitet i Cube Voyager å beregne (gjennomsnittlig) trengsel, men det er ikke et endogent element i modellen og beregnes ikke med samme detaljeringsgrad som i Trenklin. b) Det finnes modeller som kan brukes til å forskyve transport mellom perioder i TraMod_By (Flügel og Hamre 2019). c) RTM beregner forsinkelser som gir en indikasjon på kønivået, men beregner/simulerer ikke kø i rom-tids-dimensjonen.

Andre typer transportmodeller inkluderer:

- Microsimuleringsmodeller / dynamiske trafikkavviklingsmodeller
 - o Eksempler
 - Aimsun (Casas mfl 2010)
 - VISSIM (Fellendorf og Vortisch 2010)
 - TraModSim (Flügel mfl 2023)
 - o Bruker ofte faste etterspørselsmatriser som inndata eller brukes i kombinasjon med TraMod_By
 - o Predikerer rutevalg (på vei), reisetider, samt geografisk spredning av kø
 - o Mikro-/mesoskopisk og dynamisk
- Trenklin
 - o Transportmodell utviklet av Jernbanedirektoratet, brukes i dag kun for togreiser (Ranheim 2017)
 - o Predikerer valg av togavgang/rute (og implisitt avreisetidspunkt), samt antall sittende og stående på hvert tog/snitt
 - o Makroskopisk (basert på OD-matriser) og dynamisk
- MATSim (Agent-baserte simuleringsmodeller)
 - o Populær åpen-kilde transportmodell som er forholdsvis lite brukt i Norge (Flügel mfl 2021)
 - o Predikerer transportmiddelvalg, avreisetidspunkt, rutevalg, reisetider og køspredning
 - o Best egnet til å simulere interaksjon mellom ulike beslutningstakere (inkl. autonome kjøretøy) i transportnettverket
 - o Mikro-/mesoskopisk og dynamisk
- Aktivitetsbaserte transportmodeller
 - o Predikerer antall, type, tidspunkt/varighet og sted for aktivitetene, ofte for et gitt individ og en gitt tidsperiode (f.eks. en hel dag). Transportmiddelvalg kan også predikeres.
 - o Ulike modeller og tilnærminger. Et opplegg basert på maskinlæring er foreslått i Flügel et al (2022, 2024)
- LUTI-modeller (Land Use and Transport Integrated models)
 - o Predikerer bosted for personer og lokalisering av bedrifter/arbeidsplasser (predikerer implisitt destinasjonsvalg for arbeidsreiser).
- Rene etterspørselsmodeller og enkelte tilnærminger (ikke vist i Figur 4.1)
 - o MPM23 (Flügel og Jordbakke 2017)
 - o ADA (Homleid et al., 2022)
 - o Elastisitetsmodeller

I figur 4.1 ser vi at ingen av transportmodellene i oversikten dekker alle tilpasningsmuligheter/mekanismer i RTM. For omfattende analyser er det derfor ønskelig at flere transportmodeller kombineres. Et state-of-the-art modellsystem, inspirert av SIMMOBILITY (Adnan et al., 2016), kan bestå av en simuleringsmodell, en aktivitetsbasert etterspørselsmodell og en LUTI-modell (TØI-rapport 2035/2024). Alle tre modeller/moduler i et slik system har ideelt en dissaggregert (agentbasert) datastruktur, slik at det kan sendes data effektivt på tvers av modulene.

Modeller kan forenklet inndeles i modeller som finner resultatene via 1) løsning av matematiske ligninger 2) simulering av underliggende prosesser. Dette er illustrert i Tabell 4.1.

Tabell 4.1 Oversikt over styrker og potensielle svakheter ved modelltyper for predikering.

	Matematiske modeller	Simuleringsmodeller
Ex-post predikering	Ofte presise siden gode muligheter for kalibrering av modellene	Kalibrering mer utfordrende og tidkrevende
Ex-ante predikering	Noe mer usikre i tilfeller der matematiske ligninger kun er en (grov) approksimering av faktiske prosesser	Potensielt mer presise siden modellene prøver å etterligne faktiske prosesser (men mer beregningstunge)

Matematiske modeller har fordeler ved ex-post predikering og kan hjelpe med å forstå sammenhenger gitt observerte (aggregerte) data.¹² Simuleringsmodeller som forsøker å etterligne faktiske (dynamiske) prosesser har prinsipielle fordeler for ex-ante predikering, men er ofte vanskeligere å etablere. Det er spesielt krevende å kalibrere modellene med observerte (aggregerte) data.

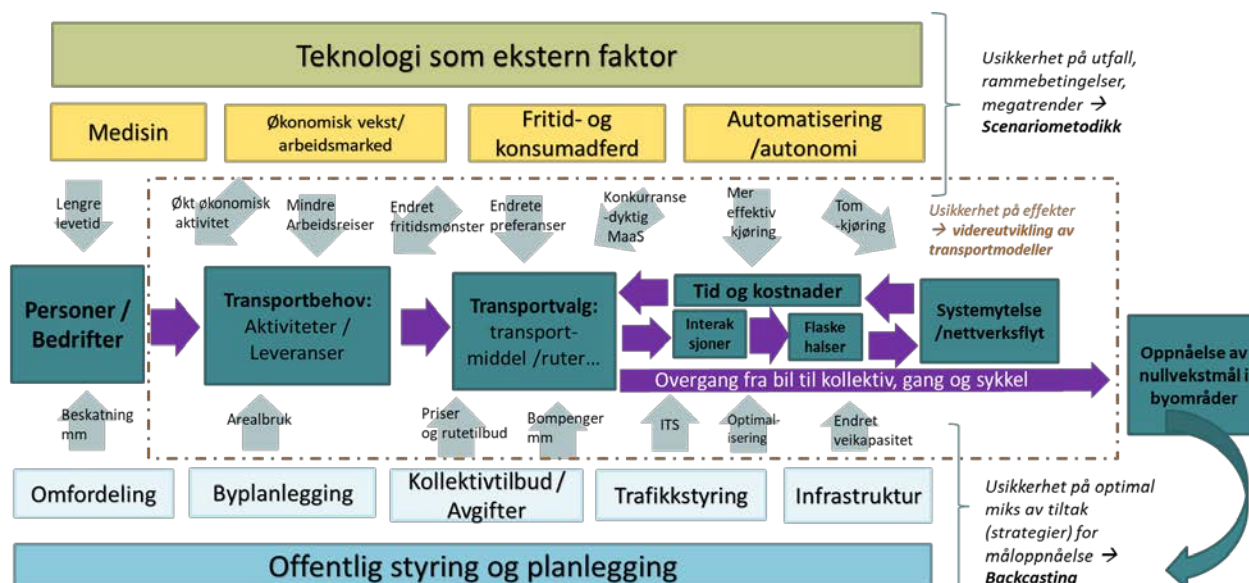
I komplekse systemer (som bytransport) ligger det en fare for at matematiske modeller representerer prosessen for statisk og forenklet, noe som kan gi utfordringer for ex-ante predikering.

4.2 Motivasjon for andre transportmodeller i forbindelse med fremsynsmetodikk og backcasting

Med unntak av rene etterspørselsmodeller og noen typer av LUTI-modeller, er modellene nevnt i forrige avsnitt dynamiske modeller, dvs. med en representasjon av tid på døgnet. Dynamiske modeller er typisk brukt for analyser i byområder eller i områder med kapasitetsbegrensninger og flaskehalser. Fra et backcasting-perspektiv er disse modellene dermed mest relevant for å støtte opp under analyser som skal sikre oppnåelse av nullvekstmålet. I denne sammenhengen vil analysene i stor grad bestå av ex-ante predikeringer for tiltak i fremtiden.

Figur 4.2 illustrerer noen sentrale sammenhenger og mekanismer som påvirker oppnåelse av nullvekstmålet. De effektene i figuren som transportmodeller - ideelt sett - skal kunne fange opp er representert med pilene innenfor boksen markert med en tynn rødstiplet linje.

¹² Det samme gjelder statistiske modeller og økonometriske modeller, som kan ansees som en undergruppe av matematiske modeller. Merk at transportmodeller ikke er statistiske modeller og økonometriske modeller selv om parameterne i modellen kan være estimert av statistiske modeller. I anvendelse brukes transportmodeller som RTM som matematiske modeller på en deterministisk måte.



Figur 4.2: Illustrering av sammenhenger innad og utenom transportmodeller i forbindelse med scenariometodikk og backcasting for oppnåelse av nullvekstmålet.

Teknologisk utvikling, som må antas å bli videre akselerert med hjelp av kunstig intelligens, kan ha store endringer på medisin, økonomi/arbeidsmarked, samfunnsform, konsumteknologier (f.eks. «augment reality»/«blandet virkelighet»), fritidsaktiviteter og autonomi og kan muliggjøre helt nye transportformer (robotaxier, flydroner/dronetaxier osv). Det er stor usikkerhet knyttet til hvordan fremtidig teknologi arter seg, hvordan den blir regulert og tatt i bruk av konsumentene, og hvordan dette videre påvirker økonomisk aktivitet, sysselsetting, fritidsaktiviteter og behov for mobilitet.¹³ Større effekter på sysselsetting, mulighet for fleksibelt arbeid og fritidsaktiviteter, faller under noe som av og til betegnes som «den nye hverdagen». Her tenker vi ikke bare på «post-covid»-hverdagen men på at noen framtids-scenarier («Samfunn 5.0» eller «Post-Labour Economics») innebærer fundamentale endringer i samfunnsstruktur og arbeidsmarked.

Som det går fram fra Figur 4.2 vil oppnåelse av nullvekstmålet i stor grad avhenge av om man vil lykkes med å få overført transportarbeid fra bil til kollektiv, gang og sykkel (inkl. andre transportformer som mikromobilitet). Fremtidig transportmiddelvalg vil avhenge av mange faktorer, blant annet tilgjengelighet og faktiske og opplevde kostnader for transportalternativene (inkl. nye transportformer), samt framkommelighet (reisetid). Reisetider og opplevde kostnader/komfort er tett knyttet til flaskehals i transportsystemet (kø, ventetid på MaaS) og kapasitetsbegrensninger (trengsel).

I den videre diskusjonen tar vi utgangspunkt i fire store endringer for bybildet (Tabell 4.2).

¹³ For å nevne de mest sentrale endringer for transportsektoren. Vi spekulerer ikke her hvordan KI og tilknyttede teknologier vil påvirke mental helse og globale maktforhold mellom stormaktene.

Tabell 4.2 Mulige effekter i bytransport som kan være vanskelig å fange opp i RTM.

Endring / effekter	Relevans for nullvekstmålet	Utfordring i RTM	Diskutert type transportmodell (Se avsnitt)
Scenarier for «den (radikalt) nye hverdagen»	Større endringer i arbeidsmarked og aktivitetsbehov kan endre reisemønster og transportmiddelvalg	Svak kausalsammenheng mellom sysselsetting, hjemmekontor, aktiviteter og transport	Aktivitetsbaserte modeller (avsnitt 4.3)
Nye transportformer som robotaxier	Vil gjøre bilturer mer tilgjengelige og attraktive	Ingen mekanismer for MaaS og tomkjøring av taxier	Agent-baserte simuleringsmodeller (avsnitt 4.4)
Danning av nye flaskehalser og oppløsning av eksisterende flaskehalser	Sterke virkemiddel må til for store endringer i transportmiddelvalg, dette endrer belastningen i nettverket	Statisk modell, ingen absolutt kapasitetsgrense på lenker, ingen tilbakeblokkering fra flaskehalser	Dynamiske modeller (Andre dynamiske modeller 4.5)
Byplanlegging/ arealbruk som effektivt virkemiddel	Kortere avstander gjør G/S mer attraktivt	Eksogen arealbruk (utover destinasjonsvalg)	LUTI-modeller (avsnitt 4.6)

Utover punktene nevnt i tabellen over, så diskuterer vi i avsnitt 4.7 også kort tilnærminger som er motivert av raskere analyser.

For oppnåelsen av nullvekstmålet i fremtiden er det essensiell å ha modeller med en god ex-ante predikeringsevne.

4.3 Aktivitetsbaserte modeller

Noen framtidsscenarier («Samfunn 5.0» eller «Post-Labour Economics») innebærer fundamentale endringer i samfunnsstruktur og arbeidsmarked. For å predikere hvordan mobilitetsbehov og transport vil arte seg i slike scenario virker det ønskelig å ha en modell som fanger opp kausalsammenhenger mellom sysselsetting, hjemmekontor, aktiviteter og transport mer direkte enn det som er tilfelle i dagens RTM, der hjemmekontor ikke er modellert spesifikt (kan eventuelt grovt tilpasses ved endringer i parametere).

Aktivitetsbaserte modeller er en tilnærming til etterspørselsmodellering som tar utgangspunkt i aktiviteter og avleder transport ut fra behovet om å gjennomføre aktiviteter. Aktivitetsbaserte etterspørselsmodeller (ABDM) går tilbake til 1970-tallet.¹⁴ Noen av de tidlige og velkjente ABDM-modellene inkluderer AMOS (Kitamura et al., 1996), Albatross (Timmermans et al., 2001) og CEMDAP (Bhat et al., 2004). Mer nylig presenterte Västberg et al. (2020) en dynamisk, diskret valg aktivitetsbasert reise-modell i en svensk kontekst. Dette arbeidet demonstrerer den kontinuerlige utviklingen av ABDM-tilnærminger og den økende interessen for å integrere mer avanserte teknikker for bedre å forstå reise-atferd. I senere tid har man også utforsket muligheten for å generere aktiviteter og reiseplaner med maskinlæringsmodeller, Badu-Marfo (2022), Flügel mfl (2022, 2024).

Sammenlignet med tradisjonelle modeller, innebærer ABDM tre grunnleggende metodologiske endringer:

¹⁴ Adler og Ben-Akiva (1979) la grunnlaget ved å se på kjedereiser med en teoretisk og empirisk modell. Dette tidlige arbeidet vurderte imidlertid ikke avreisetider og fokuserte kun på sekvenser. Recker (1995) utvidet dette konseptet ved å introdusere Household Activity Pattern Problem (HAPP) og ga en eksplisitt representasjon av tid i formuleringen og løsningen.

- Den aggregerte¹⁵ datastrukturen erstattes med en disaggregert, dvs. at individer eller husholdninger (i stedet for befolkningssegmenter innen geografiske områder) er analyseenheten (se også avsnitt 4.4).
- Transportetterspørselen er avledet fra behovet for å utføre aktiviteter, og fokuset er på sekvenser av turer eller heldaglige reiseplaner i stedet for enkeltreiser eller rundturer.
- Tid (klokkeslett) modelleres eksplisitt (start-/sluttider og aktivitetsplanlegging er viktige).

ABDM lover følgende forbedringer sammenlignet med klassiske modeller:

- Realismen i atferdsmodelleringen forbedres ettersom individuelle beslutninger er underlagt personspesifikke begrensninger¹⁶.
- Valgatferd er basert på heldags aktivitetsplaner og modelleres/simuleres for å oppnå konsistens mellom avhengige turer.
- Høyere oppløsning i tid og rom.
- Inkluderer flere atferdsdimensjoner (valg av avreisetid)

I kombinasjon med trafikkavviklingsmodeller og agentbaserte simuleringsmodeller (se neste avsnitt) kan ABDM også inkludere dynamiske interaksjoner og tilbakemeldingsmekanismer i systemet.

4.4 Agentbaserte simuleringsmodeller

Agentbasert modellering er en modelltilnærming og en algoritmisk beregningsmetode som brukes til å simulere atferden til individuelle agenter og deres interaksjoner med hverandre. I en agentbasert modell er hver agent definert som en autonom enhet som har sin egen atferd og beslutningsregler. Agentbasert modelltilnærming er brukt innenfor mange fagområder, også utenom transport.¹⁷ Innenfor transportfaget brukes agentbasert modellering både innen persontransport, godstransport og arealbruks-/LUTI-modeller (avsnitt 4.6)

I aktivitetsbaserte etterspørselsmodeller (avsnitt 4.3) har agenter selvbestemmelse over sin aktivitetsplan og kan justere disse planene gitt endringer i rammebetingelser eller transportkostnader.

Agentene er typisk personer, men kan også være husholdninger, bedrifter eller KI-systemer som tar sine egne beslutninger. KI-systemer som robotaxier kan gjøre rutevalg, valg om å plukke opp flere passasjerer, omlokalisering etter at de har levert en kunde osv. Interaksjonen mellom personer og robotaxier, dvs. kunder som etterspør reiser og robotaxier som tilbyr reiser, er vanskelig å representere i statiske matematiske modeller og tradisjonelle transportmodeller. Et flertall av vitenskapelige artikler bruker derfor agentbasert tilnærming for å studere effekter av innføring av autonome biler i veinettverk (Pernestål og Kristoffersson, 2019, Lie et al., 2021).

En populær agentbasert trafikksimuleringsmodell er MATSim (Horni et al., 2016). MATSim er rapportert som en av de mest brukte agentbaserte simuleringsalgoritmene innen transportmodellering (Bastarion et al., 2023). Agentene i MATSim har selvbestemmelse i den forstand at de kan velge sin egen rute gjennom nettverket og justere noen dimensjoner i sine opprinnelige aktivitetsplaner, som valg

¹⁵ Individene er aggregert til befolkningssegmenter, men antallet er så stort at det antakeligvis ikke har stor betydning for resultatet.

¹⁶ Samme kommentar som i forrige fotnote, dvs. at antall segmenter er så stort at det vil ha mindre praktisk betydning.

¹⁷ Som økonomi og finans, samfunnsvitenskap, epidemiologi og folkehelse, økologi og miljøvitenskap, byplanlegging og transport, statsvitenskap, forsyningskjeder og logistikk, operasjonsanalyse, biologi og evolusjonsstudier, psykologi og kognitiv vitenskap, markedsføring og forbrukeratferd, forsvar og militær, spillteori og kunstig intelligens, organisasjonsatferd og ledelse (liste generert med ChatGPT-4o)

av avreisetidspunkt og transportmiddel. Merk at denne atferden er følsom for (opplevde) kostnader, inkludert endringer i reisetid forårsaket av kø.

Følgende fordeler og ulemper ved MATSim kan nevnes (basert på TØI rapport 1819-2021):

Fordeler ved MATSim:

- Metodiske fordeler som følge av dynamisk og mikroskopisk tilnærming, deriblant:
 - Modellering av avreisetidspunkt
 - Eksplisitt modellering av kødannelse med tilbakevirkning av flaskehalser
 - Modellering av soneinterne reiser (bruk av eksakte koordinater)
 - Realistisk (stokastisk) modellering av rutevalg
 - Man kan segmentere resultater etter alle ønskede dimensjoner (som det foreligger data for)
- Fleksibel modellstruktur
 - Relativt enkelt å videreutvikle modellen
 - Eksisterende opplegg (moduler, «extensions») for autonome taxier (Bischoff, 2016)
 - Mulighet for å erstatte og tilføre enkelte modellkomponenter (inkl. moduler for godstransport)
 - Fleksibel aggregering av resultater
- Åpen-kilde og gratis (men uten brukersupport)
- Forsøker å etterligne virkelige prosesser, og resultatene fremstår dermed intuitive

Ulemper med MATSim

- Ingen langsiktig atferdsmodellering i standardmodellen (reisefrekvens og destinasjonsvalg)
- Intet etablert opplegg for å ta modellresultater videre til nytteberegning
- Mer krevende kalibrering
- Kan være vanskelig å avlede underliggende årsak-virkningsmekanismer

Det er forholdsvis lite erfaring med bruk av MATSim i Norge, sammenlignet andre land, men MATSim har fått oppmerksomhet i forbindelse med integrasjon i digitale by-tvillinger.¹⁸ Mens MATSim er mest brukt for byområder, finnes det også modeller for langdistansetransport og godstransport f.eks. i Sverige.¹⁹

Vi viser til følgende rapporter som beskriver/vurderer MATSim i norsk kontekst:

- TØI rapport 1358/2014: Evaluering av metoder for bruk til analyser i købelastete byområder
- TØI rapport 1819/2021: Gjennomgang av metoden for å fange opp trender i bytransport
- TØI rapport 1993/2023: Beskrivelse av koplingsmetode mellom MATSim og TraMod_By
- TØI rapport 2035/2024: Kartlegging av modellforbedringer for ti tiltak i by.

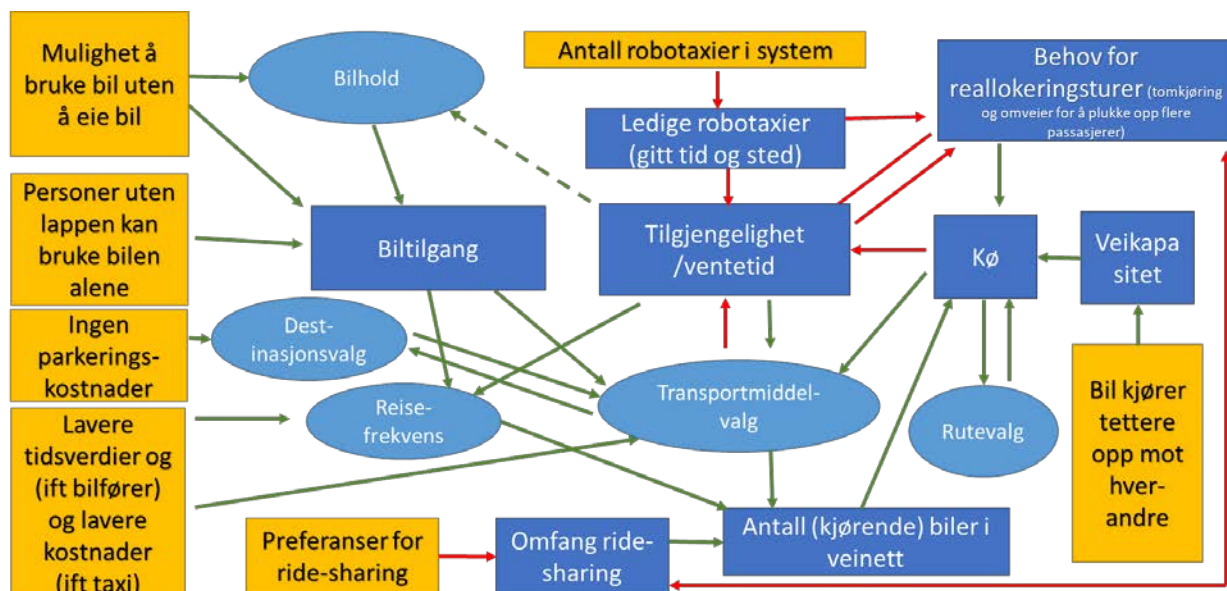
TØI rapport 2035/2024 vurderte at behovet for agentbaserte modeller er størst for bestillingstransport (Mobility-as-a-Service, ride-hailing service), enten i form av mikromobilitet eller i form av robotaxier (eller andre – potensielt delte – autonome kjøretøy).

Som diskutert i avsnitt 4.2 er fremtidig transportmiddelvalg helt sentralt for oppnåelse av nullvekstmålet. Robotaxier kan ha betydelige effekter på transportmiddelvalget, spesielt når bilturer kan tilbys til en

¹⁸ <https://kollektivtrafikk.no/app/uploads/2022/04/Mobilitet-til-Lunsj-AgumentCity-19042022.pdf>

¹⁹ Bischoff, Márquez-Fernández, Domingues-Olavarría, Maciejewski and Nagel (2019), ([Sweden \(matsim.org\)](https://www.matsim.org))

brøkdel av prisen for dagens taxier.²⁰ Utover pris er det flere andre effekter som også vil påvirke transportmiddelvalget for robotaxier. Dette er illustrert i figur 4.3. Kompleksiteten i figuren illustrerer at det er krevende å fange opp alle effekter, spesielt siden noen effekter er mer overordnede og langsiktige (bilhold), mens andre effekter vil variere over døgnet og er avhengig av detaljerte og dynamiske mekanismer.

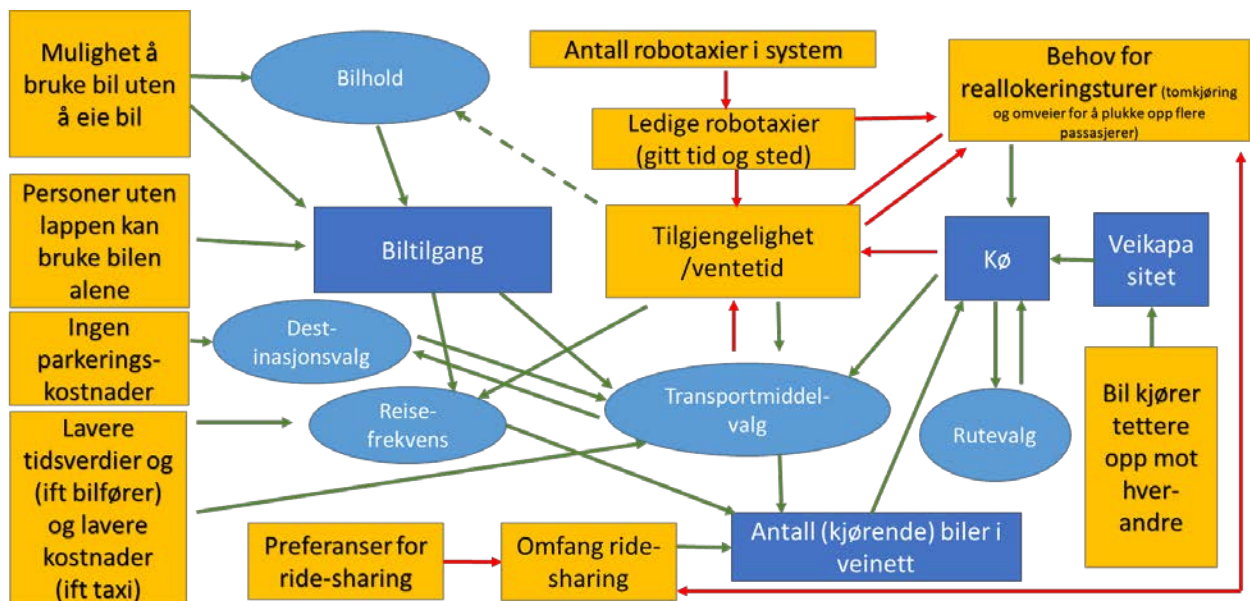


Figur 4.3: Mekanismer for modellering av robotaxier og delte (autonome) kjøretøy. Fargekoder: Gul = eksogene variable/eksterne effekter, mørke blå = endogene effekter, lyseblå: endogene atferdsdimensjoner, grønne piler = kan fanges opp godt/tilstrekkelig i etablerte modeller, røde piler: behov for agentbasert modellering. Stiplet linje representerer en langsiktig effekt basert på et gjennomsnittlig nivå på tilgjengelighet/ventetid over tid.

De grønne pilene indikerer effekter som forventes å kunne fanges opp tilfredsstillende i etablerte transportmodeller (RTM). Transportmiddelvalget vil påvirkes direkte av biltilgang, tidsverdier, destinasjonsvalg, billett-kostnader, kjø på veien/forsinkelse og ventetid på robotaxier. Disse elementer kan predikeres/beregnes i RTM, med unntak av ventetid. Grunnen til at ventetid ikke kan beregnes endogent, ligger i at ventetiden er en direkte konsekvens av dynamisk interaksjon mellom personer og kjøretøyene, noe som er umulig å fange opp uten eksplisitt modellering av klokkeslett/tidsdimensjon. Det samme gjelder behov for turer for reallokering og omfang av ride-sharing. Disse kan påvirke kønivået og dermed også transportmiddelvalget.

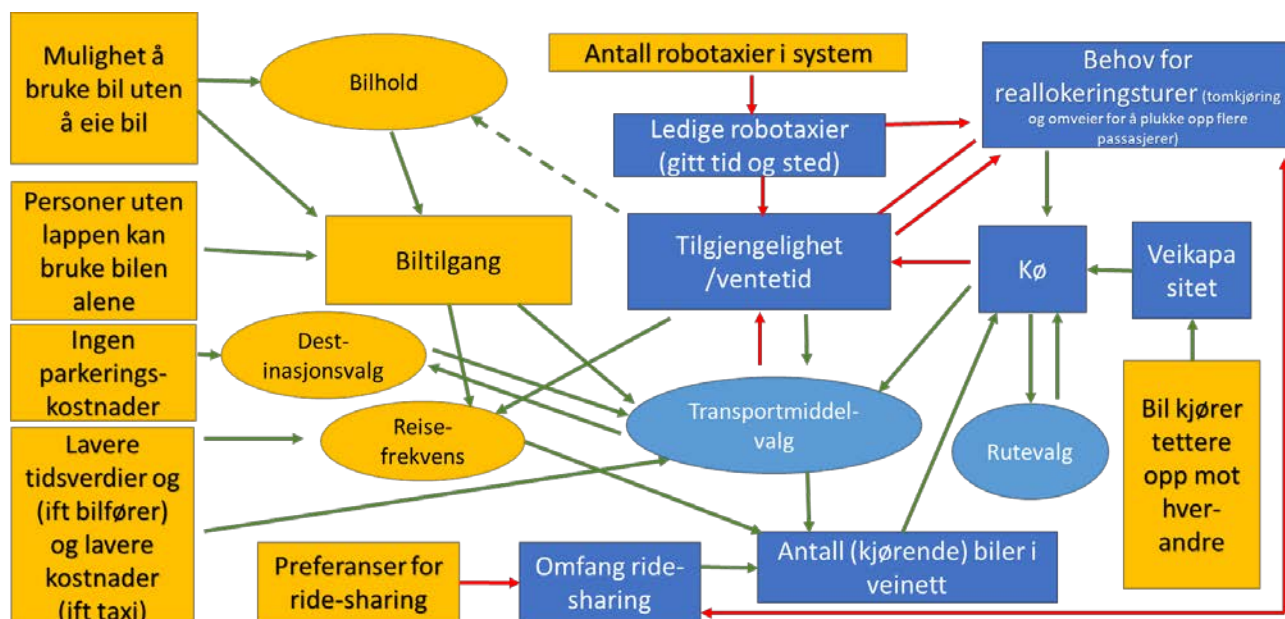
Elementer som ikke kan beregnes endogent i modellen må antas eksogent eller implisitt. Figur 4.4 viser hvilke elementer som trolig må antas eksogent i RTM. Sammenlignet med figur 4.3 er boksene med «Ledige robotaxier», «Behov for reallokeringssturer» og «Tilgjengelighet / ventetid» markert gult, som indikerer at disse elementer må antas eksogent. Antakelsene bør variere geografisk og - hvis RTM kjøres for flere perioder - bør det legges inn ulike antakelser siden disse elementer vil variere sterkt over døgnet.

²⁰ I følge SSB koster en taxitur i Norge i gjennomsnitt 33,5 kr per kilometer ([Drosjetransport – SSB](#)).



Figur 4.4: Mekanismer for modellering av robotaxier og delte (autonome) kjøretøy i RTM. Fargekoder: Gul = eksogene variabler/eksterne effekter, mørke blå = endogene effekter, lyseblå: endogene atferdsdimensjoner, grønne piler = kan fanges opp godt/tilstrekkelig i etablerte modeller, røde piler: behov for agentbasert modellering. Stiplet linje representerer en langsiktig effekt basert på et gjennomsnittlig nivå på tilgjengelighet/ventetid over tid.

Til sammenligning viser figur 4.5 eksogene elementer i en mulig MATSim implementering uten kopling mot en aktivitetsbasert etterspørselsmodell. Uten en slik kopling vil Bilhold, Biltilgang, Destinasjonsvalg og Reisefrekvens være eksogent gitt, mens simulering av transportmiddelvalg og trafikkarbeid kan være noe mer usikkert enn i modeller der dette bestemmes endogent.



Figur 4.5: Mekanismer for modellering av robotaxier og delte (autonome) kjøretøy i MATSim. Fargekoder: Gul = eksogene variabler/eksterne effekter, mørke blå = endogene effekter, lyseblå: endogene atferdsdimensjoner, grønne piler = kan fanges opp godt/tilstrekkelig i etablerte modeller, røde piler: behov for agentbasert modellering. Stiplet linje representerer en langsiktig effekt basert på et gjennomsnittlig nivå på tilgjengelighet/ventetid over tid.

Denne analysen av svakheter og fordeler i RTM og MATSim kan motivere et opplegg der de to modellene kombineres for å få best mulige anslag på transportmiddelvalg:

1. Predikering av reisefrekvens, destinasjonsvalg og transportmiddelvalg i RTM, med rimelige antakelser for ventetid for robotaxier/delte autonome kjøretøy
2. Simulering av ventetid i MATSim gitt predikert reisefrekvens, destinasjonsvalg og transportmiddelvalg i RTM og scenariovariabler (antall robotaxier i systemet).
3. Predikering av reisefrekvens, destinasjonsvalg og transportmiddelvalg i RTM med predikerte ventetider i MATSim
4. Evt. flere iterasjoner mellom steg 2 og 3 før man leser ut resultater fra MATSim (eller mer aggregert fra RTM).

Som beskrevet i TØI rapport [1358/2014](#) kan det være utfordrende å kombinere modeller med en fundamentalt forskjellig datastruktur. Ut fra dette perspektivet kan det være mer hensiktsmessig å prøve å kombinere MATSim med en aktivitetsbasert (og agentbasert) etterspørselsmodell og/eller en (agentbasert) LUTI-modell.

4.5 Andre dynamiske modeller

Ved siden av agentbaserte simuleringmodeller finnes det en rekke andre dynamiske transportmodeller. En motivasjon for å ta disse i bruk er ofte at de representerer kapasitetsbegrensninger og flaskehalser bedre enn statiske modeller som RTM.

Som beregnet i Madslien og Steinsland (2022) under «alternativ 2 (Nullvekst)», vil sterke restriktive tiltak for bil øke antall kollektivreiser i fremtiden. For å belyse nødvendige konsekvenser for trengselsnivå og behovet for kapasitetsøkning på kollektivtransport, kan det være en fordel å bruke modeller som kan fange opp trengsel om bord på en bedre måte enn det som normalt gjøres i de tradisjonelle trans-

portmodellene²¹. Et viktig element i noen typer analyser (typisk for mer taktisk transportmodellering) kan være å analysere sammenhengen mellom valg av togavgang (reisetidspunkt) og (forventet) trengselsnivå på togavgangen.

Trenklin er en persontransportmodell for togreiser som ble internt utviklet i Jernbanedirektoratet fra år 2013.²² Styrken til modellen er den detaljerte modellering av rutevalget og trengselsnivå. Sentrale atferdsparametere inkluderer tidsverdier for ulike reisehensikter og trengselsfunksjoner. Trengselsfunksjoner definerer hvordan tidsverdien øker med økende belegg om bord. Belegg beregnes i Trenklin per avgang og snitt. Beleggsgraden vil også avhenge av togmateriell, som i dagens versjon bestemmes eksogent.²³ Per i dag er Trenklin den eneste kjente operative modellen i Norge som kan beregne trafikanntnytt av redusert trengsel ombord. Trenklin kan beregne økning i togreiser som konsekvens av et tiltak ved hjelp av en elastisitetsmodell. Denne modellen kan ikke predikere hvor stor andel av de nye togreisene som er nyskapt og hvor mange som er overført fra ulike andre transportmidler.

I forbindelse med analyser om oppnåelse av nullvekstmålet er manglende modellering av transportmiddelvalg en utfordring og det anbefales at modellen utvides med en metode til å anslå transportmiddelvalg. Dette kan gjøres ved bruk av diversjonsfaktorer (Flügel mfl, 2018) og/eller krysselastisiteter (Wardman mfl, 2018). Egne diversjonsfaktorer og krysselastisiteter kan også beregnes med RTM.

Trenklin er en inkrementell transportmodell som tar utgangspunkt i en referansematrise som representerer etterspørsel etter togreiser i referansebanen (nullalternativet). For nullalternativet i dagens situasjon etablerer man referansematriser basert på passasjertellinger. Når referansebanen ligger i fremtiden, brukes det matriser avledet fra RTM eller via vekstmatriser. Vekstmatriser kan anslås skjønnsmessig eller ved hjelp av prognosemodellen «Verktøy for framskriving og scenarioanalyse av togreiser» utviklet av Flügel mfl (2021). Prognosemodellen har funksjonalitet for å legge inn forutsetninger om – blant annet – befolkningsvekst, økonomisk vekst, økt bruk av hjemmekontor, forbedret tilbringertransport (f.eks. via autonome biler) og økt miljøbevissthet (figur 4.6).

²¹ Det er imidlertid fullt mulig både i CUBE og i EMME å legge inn funksjoner for trengsel, som bidrar til å avvise trafikk på overfylte kollektivlinjer.

²² Første versjon er dokumentert i Aarhaug mfl. (2013), mens Ranheim (2017) er den mest omfattende dokumentasjon etter større endringer i versjon 2 og versjon 3.

²³ En viss grad av endogenitet i togmateriell (i form av antall togsett) ble innført ved versjon 3.2. (Ukkonen og Flügel 2020)

A		B
1	Modellspesifisering	
2		Spesifisere her
3	Markedsområde	Oslo-Viken
4	Referanseår	2018
5	Prognoseår	2030
6	Antar generisk vekst over togstasjoner gitt reisehensikt (deaktiverer fordelingsmodell)	Nei
7	Bruk default innstillinger	Nei
8	Prognosebane befolkning SSB	Hovedalternativ (MMM) (default)
9	Antakelse om økonomisk vekst	Som prognostisert av SSB (default)
10	Antakelse om endring i (andelvis) utbredelse av hjemmekontor	Samme nivå som i referanseår (default)
11	Generell konkurranseflate mot bil	Ingen endring (default)
12	Generell konkurranseflate mot fly	Ingen endring (default)
13	Generell konkurranseflate mot buss	Ingen endring (default)
14	Utvikling av tilbringertransport til tog (f.eks pga autonome kjøretøy)	Ingen endring (default)
15	Utvikling av flymarkedet (for tog som tilbringer til flyplasser)	Ingen endring (default)
16	Utvikling av tog som transportmiddel for turistnæring	Ingen endring (default)
17	Økt miljøbevissthet (i favor tog)	Ingen endring (default)
18		
19	Trykk her for å kjøre modellen:	Kjør modell
20		
21	Resultater av vekstmodell (Se resultater oppsplittet over togstasjoner i separate ark)	
22		Relativ økning av togreiser
23	arbeidsreiser	
24	fritidsreiser	
25	tjenestereiser	
26		

Figur 4.6: Funksjonalitet i scenarioverktøy for Trenklin (Flügel mfl 2021).

Prognosemodellen har flere begrensinger og størrelsen av effektene (f.eks. hvordan økt miljøbevissthet påvirker antall togreiser) er stor sett basert på skjønnsmessige antakelser. I forbindelse med økt fokus på backcasting og scenariometodikk kan det være hensiktsmessig og forbedrede/utvide prognosemodellen.

Trenklin er en makroskopisk (opererer med OD-matriser på togstasjonsnivå) og kvasi-dynamisk modell. Tidsenheten er på minuttinnivå og det brukes såkalt «rooftop» metode til å fordele etterspørselen på ulike togavganger gitt antakelser om generaliserte reisekostnader og skjulte ventetider. Skjulte ventetider beregnes basert på fordeling over ønskete ankomsttider («døgnfordeling»). At modellen kan predikere avveining mellom skjult ventetid (via valg av togavgang) og trengselsnivå er den største fordel ved Trenklin sammenlignet med RTM.

For veitransport brukes dynamiske modeller mest for trafikkavvikling og predikering av reisetider og køspredning. Aimsun er trolig den mest brukte modellen for dette formål i Norge. Aimsun kan kobles mot RTM (Høyem mfl 2020). VISSIM er et annet modell som har blitt brukt av Ruter AS. Det ligger også mulighet for (mesoskopisk) simulering i CUBE via verktøyet Cube Avenue.²⁴ Disse modeller er mest egnet for operasjonell og taktisk transportplanlegging og er i utgangspunktet mindre relevant for backcasting innenfor strategisk planlegging.

Siden dynamiske trafikkavviklingsmodeller ikke fanger opp (langsiktige) etterspørselsvirkninger har disse verktøyene en begrenset rolle for strategisk planlegging og bør for slike formål kombineres med strategiske transportmodeller som RTM. Som blant annet diskutert i Flügel mfl (2014) og Flügel mfl (2021) har koblingen mellom strategiske transportmodeller og dynamiske avviklingsmodeller noen utfordringer med tanke på dataflyt siden den krever disaggregering og aggregering av data ved hver iterasjon.

Vi mener allikevel at dynamiske modeller kan ha en plass i en backcastingprosess som et slags valideringsverktøy for at strategiene er gjennomførbare gitt antatt atferd og dagens/projisert kapasitet i transportnettverket. Hvis virkemidlene i scenarioene vises å føre til betydelige flaskehalser kan dette indikere at virkemidlene bør justeres eller kombineres med andre virkemidler som mitigerer nye flaske-

²⁴ https://bentleysystems.service-now.com/community?id=kb_article&sysparm_article=KB0102145.

halser. Innenfor en lang tidshorisont (2050) er det mulig at man implisitt antar at kommende flaskehals-er vil bli håndtert (f.eks. ved å kjøre flere sett på en togavgang eller med 2-etasjes tog). I denne forbindelse er det dog viktig å huske at samfunnsnyttene av tiltaket man ser på (f.eks. i 2050) kan være berørt av de implisitte tiltakene man legger til grunn. I slike situasjoner kan det være nyttig å validere resultater, f.eks. med en Trenklin-kjøring som legger økt materiell eksplisitt inn i forutsetningene til modellen.

4.6 LUTI-modeller

LUTI-modeller (Land Use and Transport Integrated models) predikerer endringer i transport og arealbruk simultant. TØI har tidligere gitt en vurdering av ulike metoder og modeller for å analysere samspillseffektene mellom transport og arealbruk (Johansen mfl 2015). Rapporten sammenligner fem ulike alternativer for å se transport og arealbruk i sammenheng. Noen av alternativene bygger direkte på de nåværende transportmodellene, mens andre alternativer tar utgangspunkt i en agentbasert tilnærming.

UrbanSim er et åpen kildekode urbant simuleringssystem designet av Paul Waddell ved University of California, Berkeley (Waddell mfl 2002). Modellen brukes for å analysere byutvikling ved å integrere arealbruk, transport og miljøplanlegging. Input til modellen inkluderer demografiske data, sysselsettingsstatistikk, bygnings- og arealdata, samt transportinfrastruktur og markedsforhold. Basert på disse inputene kan UrbanSim produsere prediksjoner om hvordan urbane områder vil utvikle seg under ulike scenarier, for eksempel hvordan boligutvikling, transportmønstre og eiendomspriser kan påvirkes av ulike politiske tiltak.

Som beskrevet i Johansen mfl (2015) ligger det en mulighet i å kombinere UrbanSim med MATSim. En slik kobling har tidligere blitt testet i Nicolai et al. (2011).

Johansen mfl (2015) vurderer også utvikling/implementering av en mer aggregert LUTI-modell som blir koblet til RTM. Det forslås at modellen bør ha forenklet representasjon av boligmarkedet og nybygging/tomteutvikling, at den bør være basert på nyttemaksimering og at den bør løses i likevekt.

4.7 Andre (raskere) tilnærminger

I tidlig planleggingsfase og i utforskningsfasen av en backcastingprosess, kan det være nyttig å ha tilgang til raske analyseverktøy, og isolerte etterspørselsmodeller kan gi en viktig pekepinn om hvordan etterspørselen vil endre seg gitt endrede rammebetingelser.

En analyse av etterspørselen etter robotaxier gis i Flügel og Halse (2019) «[Robotaxier – et mulig mareritt for nullvekstmålet](#)». I analysen brukes MPM23-modellen, en ren etterspørselsmodell estimert på reisevanedata fra Ruter-MIS, til å anslå mulige etterspørselseffekter av innføring av robotaxier i Oslo-område. Siden MPM23 metoden ikke har nettutlegging av reiser, og dermed ikke kan predikere endringer i kø/forsinkelser som følge av økt etterspørsel etter bilturer, måtte det antas en eksogen økning i reisetid. I analysen valgte man å øke reisetiden i og inn til Oslo med 20 prosent i rushperioden. En slik antakelse burde helst vært validert med transportmodeller eller simuleringmodeller. Til tross for svakhetene, kan rene etterspørselsmodeller være nyttige og informerer beslutningstakerne om mulig virkninger. Resultatene må sees i lys av begrensinger og er muligens best egnet for tiltaksanalyser der man kan anta at effektene på trafikkavvikling er små eller der man kan legge til grunn at andre tiltak vil mitiggere (dempe/unngå) potensielle nye flaskehals-er som følge av tiltaket.

En isolert kjøring av TraMod_by (uten iterering med CUBE) kan ansees som en isolert etterspørselsmodell. Dette er muligens mest relevant dersom det utvikles en forenklet versjon av RTM (avsnitt 3.3) som vil være mer fleksibel med tanke på scenarioanalyser og raskere med tanke på uttesting i tidlig fase.

Den enkleste tilnærmingen til etterspørselsmodellering er elastisitetsmodeller som predikerer relative endringer i outputvariabler gitt relative endringer i inputvariabler. I mange tilnærminger er inndata en endring i kostnader eller reisetid og utdata er antall turer (eller transportarbeid) med samme transport-

middel. I dette tilfelle refererer man til elastisitetsparameteren som egenelastisiteter der verdier lavere enn 1 indikerer ufleksibel etterspørsel. Når inputvariabelen gjelder et annet transportmiddel enn outputvariabelen (f.eks. effekt av avgangsfrekvens for kollektivtransport på antall bilturer), snakker vi som krysselastisiteter. Krysselastisiteter er veldig avhengig av (relative) markedsandeler og er vanskelig å overføre fra en region til en annen. Diversjonsfaktorer som angir hvordan overført trafikk andelsvis fordeler seg over transportmidlene antas noe mer robuste på tvers av markeder. Når man mangler empiri om krysselastisiteter kan man beregne effektene basert på rimelige antakelser om egenelastisiteter og diversjonsfaktorer, samt de relative markedsandeler i analyseområdet.

Empiriske elastisitetsparametere kan være basert på tidsseriedata (før/etter) i felt eller avledes fra transportmodeller (som typisk er estimert på tverrsnittdata). Når elastisitetsparametere kommer fra før/etter-studier vil verdiene implisitt inkludere mulige reboundeffekter (second-order effekter). F.eks. når vi måler antall bilturer før og etter en bomtakstøkning, så vil den målte relative reduksjonen i antall bilturer også fange opp (den sekundære) effekten av kortere reisetid pga. mindre kø (gitt at reduksjonen i antall biler reduserer køen noe). Det er imidlertid ikke garantert at den målte elastisiteten har gyldighet for nye ex-ante prediksjoner. F.eks. kan reboundeffekten være mye svakere ved en ny økning av bomtaksten siden køen allerede ble redusert ved innføring av den første takstøkningen. I dette tilfelle deler elastisitetsmodeller svakheten til rene etterspørselsmodeller (dvs. etterspørselsmodeller som ikke er kombinert med en nettverksmodell) om at endogene effekter i nettverket ikke har blitt tatt hensyn til. Eller med andre ord at etterspørsel og tilbud ikke nødvendigvis kan sies å være i likevekt.

I forbindelse med scenarioanalyser er det også en ulempe ved elastisitetsmodeller at det ikke er opplagt hvordan man skal forholde seg til endrede rammebetingelser eller helt nye transportformer. Bruk av elastisitetsmodeller for langsiktige prognoser bør derfor gjøres med varsomhet, og de er kun egnet for å få et anslag på etterspørselsvirkninger. Med tanke på oppnåelse av nullvekstmålet er man ofte interessert i krysselastisiteter som – som nevnt ovenfor – kan være vanskelig å få god empiri om. Krysselastisiteter kan avledes fra transportmodeller, men da er det ofte mer rett fram og mer hensiktsmessig å bruke selve transportmodellen til tiltaksanalysen.

Utover rene etterspørselsmodeller og elastisitetsmodeller ligger det også et stort potensial i å bruke maskinlæring og kunstig intelligens (KI) til raske analyser. TØI skal høsten 2024 skrive en egen rapport om bruk av KI for strategisk planlegging der også bruk av KI for fremsyn og backcasting blir et tema. Vi velger derfor å ikke «slippe (KI)-katta ut av sekken» i denne rapporten.

4.8 Relevans av andre modeller for diskuterte områder

I dette avsnitt diskuterer vi kort relevans og mulige anvendelsesområder for andre typer modeller i forhold til områder tidligere i rapporten (Tabell 4.3). Flere av temaene trenger en dypere analyse og tabellen bør oppdateres etter videre analyser.

Tabell 4.3 Foreløpig vurdering av andre modeller i forbindelse med diskuterte områder.

Modelltype	Anvendelse	Kommentar
Økt vektlegging av militære behov		
LUTI-modeller, Agent-baserte modeller	– Arealer reservert for militær bruk kan påvirke arealbruk, dette kan evt. modelleres i LUTI-modeller; – interaksjon mellom militære og sivile kjøretøy kan simuleres i agentbaserte modeller	– Noe uklart behov og mulighetsrom; – trenger en dypere vurdering/spesifisering
Klimaendringer og klimatilpasning av infrastruktur		
Simuleringsmodeller	– Analysere/simulering av evakuerings-scenarier (flom, ekstremvær) gitt kapasitet i veinett og informasjon om hvor alle personer oppholder seg på en gitt tid (via aktivitetsplaner)	– Lämmel mfl (2009)
Sterkere vekt på å unngå tap av natur		
LUTI-modeller	– Modellering av arealbruksplanlegging for å minimere inngrep i naturen	– Trenger en dypere vurdering
Mer elektrifisering		
Dynamiske modeller	– Simulere ladebehov over døgnet og flaskehals i hurtigladeinfrastruktur	– Se avsnitt 4.4
Innfasing av ny teknologi (inkludert nye mobilitetsløsninger)		
Uklart	– Uklart	– Se punkt «Mer elektrifisering»
Økt bruk av og endret tilgjengelighet til bærekraftig drivstoff		
LUTI-modeller	–	–
MÅL: Næringslivets konkurransekraft		
	– Vurdere påvirkning av transportinfrastruktur på næringslivets valg av lokasjon (som en proxy for endret konkurranseevne)	– Trenger en dypere vurdering
MÅL: Nullvekstmål i de store byområdene		
Aktivitets-baserte modeller, simulerings-modeller	– Mer dynamisk modellering av tiltak i kø-belastede byområder	– Se avsnitt 4.2
SCENARIO: Radikalt ny hverdag		
Aktivitetsbaserte modeller	– Bedre kausale sammenhenger mellom sysselsetting, hjemmekontor, aktiviteter og transportbehov; konsistent modellering av heldaglige reiseplaner	– Sammenlignet med RTM-modellen der reisens opphav og fordeling predikeres med empiriske frekvensmodeller for enkelte (rundt)urer og destinasjonsvalg basert på soneattraktivitet.

5 Datagrunnlag

5.1 Persontransportmodeller

Gode modeller krever at datagrunnlaget de bygger på er godt og dekkende for det som modellen skal representere. For transporttetter spørsmålsdata som RTM og NTM6 er datagrunnlaget, spesielt reisevaneundersøkelsene, en kritisk faktor. Her går utviklingen i feil retning. Det blir stadig vanskeligere å rekruttere respondenter, svarprosenten synker, og det tar lang tid å bearbeide dataene og ferdigstille dem for forskning og analyse. Dersom RVU skal brukes til reestimering av transporttetter spørsmålsmodeller, kreves det også at en påkoder nettverksdata og setter sammen reisene til turkjeder.

Dagens RTM er estimert på nasjonal RVU fra 2013-14, med rammetallskalibrering for senere år mot nyere data fra RVU. Det har skjedd betydelige endringer i transporttilbudet siden 2013, spesielt i forhold til hvilke transportmidler/transportmåter som er tilgjengelig. Selv om det har vært en sterk økning i andelen elbiler, så utgjør forskjellen i bruk her en liten endring fra en bil med forbrenningsmotor (primært kostnadene ved bruk som er forskjellig). Den eksplosive veksten i elsykler etter 2013 har nok i mye større grad endret omfanget av sykling og ikke minst hvem som vurderer sykkel som et reelt transportalternativ. Også mikromobilitet, i form av elektriske sparkesykler, har endret transportbildet betydelig i de områdene i landet der disse er tilgjengelige gjennom ulike utleieselskap. Slike store endringer i tilbudet, kombinert med endringer i reiseatferd både generelt og som en konsekvens av nye vaner etter pandemien, taler for at det kunne vært nyttig med en reestimering av modellsystemet basert på nyere data. I så fall er det samtidig viktig at en har pandemien såpass på avstand at det er grunn til å tro at en er tilbake til en noenlunde «normalsituasjon».

Ved en eventuell reestimering er det viktig at reisevanedataene er av så god kvalitet som mulig, der svarprosent og representativitet av de som svarer vil være viktig. Her vil nyere datainnsamlingsmetoder, som reisevaneapper eller lignende, trolig være et viktig bidrag, men også ulike forbedringer som gjør at tidsbruken for å svare på den tradisjonelle undersøkelsen reduseres, kan være av stor betydning. I denne sammenheng kan det være relevant å undersøke hvorvidt det er mulig å gjøre forenklinger i spørreskjemaet i RVU ved at ulike bakgrunnsinformasjonen hentes fra kopling mot ulike typer registerdata.

I tillegg til reisevanedata har både dagens transportmodeller og ulike alternative modeller behov for data som på en god måte beskriver transporttilbudet, samt mye ulike data fra SSB knyttet til befolkning, arealbruk, inntektsnivå etc. Dette er data som bør oppdateres jevnlig, både for å sikre at riktig transporttilbud ligger inne (inklusive kollektivtilbud og takster, og bompengeplasseringer og takster), men også for å hensynta at det i enkelte grunnkretser kan være store endringer i befolkning i forbindelse med f.eks. store boligutbygginger i transformasjonsområder. Økt befolkningstetthet i en grunnkrets vil øke tettheten som beregnes i modellen, og ved det gi lavere bilhold i området. Av andre data som er svært viktig for beregning av transportmiddelfordeling og transportomfang med bil (samt bilhold) er parkeringskostnader. Dette gjelder både kostnader (og tilgang) for parkering ved bosted og ved de destinasjoner man kan reise til. I mange byer i Norge er parkeringspolitikken strammet kraftig til de senere årene, med fjerning av parkeringsplasser, økte takster for parkering og innføring av beboerparkering, og dette er et mønster som ser ut til å fortsette. Gode beregninger knyttet til bytransport og nullvekstmålet forutsetter at en både har kontroll på gode data for dagens parkeringstilbud og på hvordan det forventes å utvikle seg i beregningsperioden.

Empiriske data fra den virkelige verden (såkalt revealed preference, RP-data) er vanskelig å få tak i for nye transportformer. For å observere atferd og avlede preferanser for robotaxier med RP-data må man

– per i dag – se til enkelte amerikanske byer²⁵ eller til Kina. Vi anbefaler at man bruker Ruter sin uttesting på Groruddalen til å vurdere å samle inn preferansedata om akseptable ventetider, preferanse for/mot ride-sharing og tidsverdier. For en analyse om tidsverdier med stated preference data (SP) viser vi til Flügel mfl (2019).

For scenarioanalyse med helt nye transportformer (f.eks. dronetaxi) er man nødt til å gjøre sterke antakelser om preferanser hvis man vil inkludere disse i modeller for transportmiddelvalg. Selv om det er mulig å gjøre noen logiske antakelser om tidsverdier osv, er det spesielt en utfordring knyttet til konstantleddene i nyttefunksjonene. Disse bestemmes typisk via kalibrering basert på observerte data, noe som åpenbart ikke er mulig for helt nye transportformer.

5.2 Godstransportmodeller

Også for godstransport er datakvaliteten avgjørende for modellrammeverkets kvalitet og treffsikkerhet. Nettverksmodellen er basert på offentlig tilgjengelige data, forvaltet av transportvirksomhetene selv.

Varestrømsmatrisene er basert på et bredt sammensatt spekter av data, som f.eks. registerdata forvaltet av Data Norge, SkogData, grunnlagsdata fra SSBs utvalgsundersøkelser (varestrømsundersøkelsen, lastebilundersøkelsen, grunnlagsdata fra kvartalsvis havnestatistikk og utenrikshandelsstatistikk). *Med unntak av data fra varestrømsundersøkelsen kan de over nevnte kilder sammenstilles på kort sikt (fram mot sommeren 2025).*

Data til kostnadsmodellene er i stor grad anskaffet gjennom intervjuer og kontakter med bransjeaktører og i noen grad fra litteraturstudier. Noen globale forutsetninger, om f.eks. rente, valutakurser og drivstoffpriser samles fra ulike offentlige kilder. Valideringsdata som transportytelser, veitrafikktellinger og AIS-data er offentlig tilgjengelige data.

Av de over nevnte datakildene er det særlig data til varestrømsmatrisene som er både kostnads- og arbeidskrevende å bestille og sammenstille. Særlig gjelder dette data fra varestrømsundersøkelsen som SSB gjennomførte for 2014, som fortsatt representerer den mest kompliserte logistikken i modellen og som kanskje er mest sentral for den delen av transportmarkedet der transportmiddelfordelingen endres som følge av virkemiddelbruk. Dette grunnlaget burde absolutt vært oppdatert, men fordi undersøkelsen var svært dyr da den ble utført, samtidig som det var store utfordringer med resultatet av undersøkelsen, bør det vurderes en alternativ løsning. Man har tidligere pekt på muligheten for elektronisk datafangst, f.eks. basert på fraktbrev, men dette er noe som foreløpig bare brukes i begrenset grad og da primært for grensekryssende transporter, der datagrunnlaget har best dekningsgrad i utgangspunktet. *En full revisjon av varestrømsmatrisene anser vi som et langsiktig løp.*

Data fra utenrikshandelen har også vært dyre i bestilling, noe som skyldes at SSB har gjort en større jobb tilknyttet regionalisering av dataene fordi de må koble sammen foretaks- og virksomhetsnummer til tolldokumenteringene og i noen grad også justere varestrømmene i hht. antall ansatte i virksomhetene. SSB har imidlertid tilgjengeliggjort utenrikshandelen på et svært detaljert varegruppenivå fordelt på alle verdens land på sine nettsider, slik at det nå er mulig å lage «en til en»-koblinger til varegruppene i NGM. Dette muliggjør å analysere trendutvikling i varestrømmer på både vare- og landnivå, og med det lage endringsrater fra det som er basisåret i matrisene (2020) til f.eks. 2023-nivå. *Dette er arbeid som kan gjøres på kort sikt.*

I kapittel 3.5 der vi har vurdert analysemuligheter med godsmodellen under alternative forutsetninger, har vi også pekt på noen data som bør innsamles for å kunne gjennomføre de relevante scenariene.

²⁵ Waymo tilbyr turer med robotaxier i San Fransisco, Los Angeles, Austin and Phoenix. Waymo kjører i disse byer mer enn 100 000 betalte turer per uke (<https://techcrunch.com/2024/08/20/waymo-is-now-giving-100000-robotaxi-rides-week/>).

Informasjonen kan oppsummeres i informasjonsbehov for følgende punkter, som *alle kan gjennomføres på kort sikt*:

- Lokasjoner til utslippskilder for framtidig karbonfangst og lagring (hvilke aktører, lokasjoner og volumer)
- Alternative leveringskjeder ved overgangen til sirkulærøkonomien (hvilke varer, hvor store volumer, fra hvor, til hvor)
- Utvikling av potensielle beredskapslagre for kritiske (innsats)varer (hvilke varer, volumer, lokasjon på terminal)
- Merknader for batterielektriske skip
- Anslag på potensiale for kostnadsreduksjoner/endringer for autonome løsninger

Noe som er en mer krevende er informasjonsinnhenting om hvilke bruer som har restriksjoner i dag i det fylkeskommunale nettet (jfr analyser av nytten av forsterkning av kritiske bruer i det fylkeskommunale veinettet).

5.3 NOREG 2

SCGE-modellen NOREG 2 benytter seg i stor grad av offentlige tilgjengelige datakilder som sammenstilles og bearbeides til inngangsdata for modellverktøyet. Regionale næringskryssløp er essensielle inngangsdata for denne typen modeller. Dette er en datatype som ikke produseres av SSB, men hvor vi benytter ulike datakilder til projisering av det nasjonale næringskryssløpet ned på regionalt nivå.

Per i dag er kryssløpet i NOREG 2 basert på SSB sine input-output tabeller fra 2016 / 2017. Grunnet uregelmessigheter i økonomien av Covid19 og myndighetenes tiltakspakker for å stimulere økonomien under pandemien, har det vært lite hensiktsmessig å oppdatere basisåret i modellen til data for 2020/2021. Langsiktige utviklingsbaner basert på Covid-årene er ikke ønskelig. Nye input-output tabeller for året 2022 blir tilgjengeliggjort fra SSB ved utgangen av 2024 og det er da mulig å oppdatere grunnlagsdataene i NOREG 2.

I de kortsiktige utviklingspunktene for NOREG 2 som er beskrevet i kapittel 3.6, skisseres modelltilpasninger som hver for seg bidrar til styrking av datagrunnlaget for modellverktøyet.

Tilrettelegging av NOREG 2 for analyser av klimaomstilling handler i stor grad om innhenting og bearbeiding av relevante data, samt kalibrering av utslipp og avgifter. Her vil det bli etablert næringsspesifikke utslippskoeffisienter knyttet til bruken av fossile energivarer og til utslipp fra prosesser i industrien. Næringsspesifikk utslippsintensitet vil bli beregnet basert på historiske data og vi vil videre skille mellom næringer innenfor og utenfor ETS.

Videre ønsker vi å utnytte ulike datakilder til å danne et bedre bilde av den kommunefordelte nærings-spesifikke eksporten som både benyttes i NOREG 2 og i NGM. Dette vil, utover å tilføre en større grad av realisme i modelleringen av utenrikshandelen, gi bedre analysemulighetene for utviklingsbaner hvor det innføres virkemidler for eksportrettet grønn næringsvekst.

6 Diskusjon og videre forskning

6.1 Utfordringer med fornying, forvaltning og vedlikehold

Om man øker transportmodellenes kompleksitet ved å innføre høyere oppløsning i tid og rom og flere atferdsrelevante vekselvirkninger, vil dette kunne gi større usikkerhet i resultatene og kreve større ressurser til å gjennomføre analyser.

De etablerte persontransportmodellene er utviklet på oppdrag fra NTP-virksomhetene som har vært opptatt av å bygge opp et standardisert og transparent metodeverk til bruk i et bredt transportanalyse-miljø. Modellene brukes i dag av et tyvetalls kompetansemiljøer blant oppdragsgivere og konsulenter. Denne utbredelsen hadde neppe vært mulig uten støtte i et kommersielt transportmodellverktøy som ivaretar utvikling, vedlikehold, brukerstøtte og opplæring.

CUBE er et lisensiert transportmodellverktøy som leveres av Bentley Systems. Det har et lettfattelig brukergrensesnitt som gjør at det er enkelt å etablere og administrere scenarioberegninger, og tilbyr en rekke applikasjoner for diverse matematiske operasjoner og visualisering av data. CUBE tilbyr også funksjonalitet for blant annet dynamisk modellering, mikrosimulering og aktivitetsbasert etterspørselsberegning. Dette brukes imidlertid ikke her til lands, og krever andre lisensprodukter. Ønsker man å ta i bruk slik funksjonalitet, innebærer dette økte lisenskostnader i tillegg til ressursene som kreves for å videreutvikle modellene. I forbindelse med en vurdering av behov for eventuelle tilleggsmodeller til dagens RTM, bør også disse alternative verktøyene innenfor CUBE-systemet vurderes nærmere.

Transportmodellenes funksjonalitet er bare en av mange faktorer som er med på å definere kvaliteten på en transportanalyse. Enhver matematisk modell gir et forenklet og stilisert bilde av virkeligheten, og resultatene må tolkes ut fra premissene som ligger til grunn for beregningene.

En levende modell må kvalitetssikres og vedlikeholdes gjennom omfattende bruk som også sikrer at det bygges kompetanse blant operatører og beslutningstakere. Dette krever en relativt stor etterspørsel etter analyser og en kritisk masse av brukere. De etablerte persontransportmodellene har dette eksistensgrunnlaget blant annet fordi de er generiske modeller som dekker hele landet, og har en rekke ulike beregningsopsjoner som tilbyr svært fleksibel bruk tilpasset de geografiske områdene som skal analyseres. De inneholder også diverse tilleggsmoduler blant annet for beregning av samfunnsøkonomiske virkninger.

Behovet for å utvikle mer spesialiserte modellvarianter innenfor RTM-systemet dukker stadig opp i ulike prosjekter, uten at det er markedsgrunnlag for å vedlikeholde den enkelte spesialmodellen etter at prosjektet er avsluttet.

6.2 Diskusjon/perspektiv

To sitater om modeller bærer mye visdom: «Gjør modellen så enkel som mulig, men ikke enklere» (Einstein) og «Alle modeller er feil, noen er nyttige» (Box). Transportmodellens nytte ligger i stor grad i gode ex-ante-prediksjoner om fremtidig transport under ulike antakelser om generell fremtidig utvikling (dvs fremtidig transport gitt et konkret fremtidsscenario) og i at man kan beregne trafikantnyttene av ulike tiltak i dette fremtidsscenarioet. Behovet for å gjennomføre modellkjøringer i flere ulike scenarier øker ved fremsyn og backcasting. Spekteret av predikerte effekter fra flere scenarier skal hjelpe politikere og beslutningstakere å gjøre valg som, med stor sannsynlighet, oppfyller samfunnsmålene og/eller maksimerer samfunnsnyttene.

Transportmodeller er komplekse (og har blitt mer komplekse over tid), men sammenlignet med virkeligheten er de – som alle modeller – sterke forenklinger. Det avgjørende spørsmålet for fremtidig forskning

og utvikling (FoU) bør være om etablerte transportmodeller gjør de riktige forenklingene ut fra forventet effekt på predikeringsevne og praktiske hensyn (beregningstid, tolkbarhet osv.).

Rask teknologisk utvikling og kommende nye transportformer utfordrer predikeringsevnen til etablerte modeller. Dette har man allerede fått noe erfaring med etter at mikromobilitet ble en realitet. Bestillingstransport og mer dynamiske og komplekse transportsystemer stiller spørsmål ved predikeringsevnen til statiske transportmodeller, og forskningsfronten har i stor grad vært opptatt av utvikling av dynamiske modeller som forsøker å etterligne faktiske prosesser. Tilgang til stordata og sanntidsdata med høy oppløsning, en eksponentiell vekst i beregningskraft generelt («Moore's lov»), samt nye teknologier som digitale tvillinger og kunstig intelligens muliggjør bedre – og på sikt mer nyttige – dynamiske transportmodeller.

Det har vist seg relativt vanskelig å finansiere forskning og utvikling (FoU) for nye typer transportmodeller i Norge, og noe av dette kan skyldes en forholdsvis svak posisjon for norsk akademia innenfor fagområdet. En annen svakhet kan være at finansiering fra transportvirksomhetene ofte har hatt fokus på forbedringer til neste NTP-syklus, som i mindre grad gir rom for mer langsiktig FoU.

I Tabell 6.1 diskuterer vi noen forhold mellom «kortsiktig» og «langsiktig» FoU og behovet for predikering av transport på kort og lang sikt.

Tabell 6.1: Tidsperspektivet på Forskning og Utvikling (FoU) og modellpredikering.

	Kjøring av dagens modellsystem med historiske inndata	Kjøring av dagens modellsystem uten FoU - kun justering av eksterne inputvariabler	Kortsiktig FoU basert på eksisterende modeller (som kan ferdigstilles på 0-2 år)*	Mer langsiktig FoU som kan startes i dag, men som vil ta 2-5 år for ferdigstilling**
Tilbakevirkende prognoser for historiske år (f.eks. predikeringsår 2019 med 2010-modellen)	Ex-post predikering --> «Hvordan gikk det egentlig»	Ex-post predikering med kunnskap om faktisk utvikling i eksterne inndata --> «Hvordan kunne det ha gått» (kan avdekke svakheter i interne mekanismer i modellen)	Kan brukes for spesifisering/kalibrering av forbedring	Kan brukes i kalibrering og forbedringer av nye modeller
Prediksjoner av tiltak for dagens situasjon (beregningsår 2025)	Ikke relevant	Godt ivaretatt (noe usikkerhet om preferanser er riktig representert for post-covid)	Begrenset behov	Ikke relevant
Prediksjoner av transport og tiltak i scenario for den kortsiktige fremtiden (beregningsår 2030)	Ikke relevant	Behov for mer scenarioanalyse, men muligens godt ivaretatt	Bedre mulighet for scenarioanalyse	Mindre relevant
Prediksjoner av transport og tiltak i scenario for den langsiktige fremtiden (beregningsår 2050)	Ikke relevant	Behov for mer kritisk vurdering og sammenligning/validering mot andre verktøy og metoder	Stort behov med tanke på nye transportformer og økende behov for scenarioanalyse / backcasting	Ønskelig gitt fundamentale begrensninger i eksisterende modeller

* Re-estimering med post-covid reisevanedata, eksplisitt modellering av hjemmekontor, mer fleksibel RTM, kopling mot forbedret NOREG 2, justering av mekanismer for å ivareta robotaxier på en forenklet måte...

** Agentbaserte LUTI-modeller, landsdekkende aktivitetsbaserte modeller og agentbasert simuleringsmodeller

6.3 Videre forskning

En viktig utfordring i kommende planlegging vil være å finne kombinasjoner av virkemidler (virkemiddelpakker) som når klimamålene. Som hjelp i en slik prosess anbefaler vi at det, når relevante virkemidler er kartlagt, utføres tester av hvor godt ulike modeller er egnet til analyse av disse, både enkeltvis og i kombinasjon. Nødvendige forbedringer av modellverktøyene bør deretter gjøres, før en bruker best tilgjengelige modellversjoner i en iterativ prosess der en vurderer resultater fra hver beregning opp mot det eller de konkrete mål man har satt. Hvis målene ikke nås justeres nivået på virkemidlene før ny be-

regning. Denne type iterativ prosess for å finne gode virkemiddelpakker er ikke helt ulik det som ble gjort i forbindelse med byutredningene i 2017, der målet var knyttet til trafikkarbeid i byområdene (Nullvekstmålet).

I rapportens kapittel 3 er de tradisjonelle transportmodellene og likevektsmodellen NOREG 2 gjennomgått med fokus på hvilke virkemidler som behandles godt og hvor det kan være hensiktsmessig med forbedring av modellene eller supplering med andre modeller. Det er også vist én tabell for hver av de transportmodellene (kapittel 3.2.5 for persontransportmodellene, 3.5.3 for godstransportmodellen og 3.6.5 for likevektsmodellen NOREG 2), med vurderinger av om og eventuelt hvordan de kan brukes i forbindelse med noen gitte utviklingstrekk eller trender. Det er også angitt hvilken modellinput som eventuelt vil kreves, eller alternativt forslag til hvilken videreutvikling som kan være nyttig for å kunne studere utviklingstrenden nærmere.

En utfordring med dagens modellsystem for strategisk planlegging er at teknologi i form av nye transportformer ikke er tatt hensyn til, f.eks. autonome biler og autonom bestillingstransport (robotaxi). Disse transportformene kan ha store effekter på atferd (etterspørsel etter bilturer, bilhold), bymiljø (mer eller mindre kjøp, frigjøring av parkeringsplasser), eksterne effekter (færre ulykker?) og samfunnsnyttien av ulike tiltak. Modellkjøringer for år langt fram i tid (f.eks. 2050) vil alltid være usikre, men usikkerheten øker hvis modellen mangler nye transportformer som forventes å endre transportbildet vesentlig. Dette gjelder også transportformer som finnes i dag, som ulike varianter av mikromobilitet, men som ikke er inkludert i dagens modeller fordi de ikke var tilgjengelige på estimeringstidspunktet. Dersom man ønsker nye transportformer inn i dagens modeller så kan det, for mobilitetsformer som har kommet etter opprinnelig modellestimering, løses i forbindelse med en eventuell reestimering av modellene. Alternativt kan det etableres en forenklet og mer fleksibel modell, basert på dagens RTM, som tillater at nye transportformer legges inn. Dette er nærmere omtalt i kapittel 3.3. For transportformer som robotaxi, som er en ukjent transportmåte i dag, så vil en eventuell inkludering i et modellverktøy kreve at man må forutsette noe både om transportmidlets egenskaper og befolkningens preferanser for å bruke det.

Hvis robotaxier anses å være et element som vil innebære betydelig endring i transporttetter spørsmålet fremover, så er det noe man bør inkludere ved en revisjon av dagens transportmodeller. Før det eventuelt er gjort så kan det være aktuelt å vurdere om det er mulig å gjøre forenklete forutsetninger i dagens RTM, dvs. at man må forsøke å spesifisere endringer i inputvariabler som representert i de gule boksene i figur 4.4. Samme øvelse kan gjennomføres med MATSim, basert på antakelser om inputvariabler som representert i de gule boksene i figur 4.5. MATSim-modellen for Oslo-området og en RTM-modell for et tilsvarende område, kan være utgangspunkt for en slik uttesting. I tillegg til å gjøre en test av hvordan robotaxier (eventuelt) kan la seg integrere i dagens RTM, vil vi også anbefale at arbeidet med å etablere en forenklet og mer fleksibel versjon av RTM (se kapittel 3.3) gjennomføres, og at tilsvarende test av robotaxier gjøres også i den.

Det vil videre være interessant å vurdere og teste et mulig samspill mellom MATSim og RTM, som skissert i avsnitt 4.4. Et slikt arbeid bør også undersøke om funksjonaliteten i CUBE AGENT kan erstatte MATSim. En eventuell implementering av CUBE AGENT for Oslo-området kan muligens benytte den syntetiske reisebefolkningen (sett av agenter med individuelle reisepaner) som ble etablert (Flügel mfl. 2022, Flügel mfl. 2024) i forbindelse med PRELONG-prosjektet.²⁶ Det anbefales å involvere Ruter AS i en slik øvelse, ettersom de på kort/mellomlang sikt vil ha tilgang til empiriske data fra uttesting av robotaxier i Groruddalen.

I tillegg til en eventuell vurdering av ulike modeller egnethet for analyse av robotaxier, vil det også være interessant å sammenligne ulike modelltypers egnethet til å beregne effekter av andre typer virkemidler som vurderes å være relevant inn mot et lavutslippssamfunn. Dette kan f.eks. være økonomiske virke-

²⁶ <https://www.toi.no/project-prelong/>

midler som veipricing, bompenger eller drivstoffavgifter, endret tilbud i kollektivtrafikken (rutestruktur og priser) mv.

Varestrømsmatrisene i NGM er noen år gamle, og anbefales oppdatert. Hovedutfordringen ligger i det datamaterialet som er basert på SSBs varestrømsundersøkelse fra 2014, der det ikke foreligger nyere datagrunnlag på kort sikt. Det bør derfor jobbes med metodeutvikling for hvordan man kan oppdatere dette grunnlaget ved hjelp av eksisterende datakilder. I tillegg til varestrømsmatrisene, vil vi anbefale å utvikle og tilpasse modellen slik at den er bedre egnet for analyser av omstillingen mot lavutslippssamfunnet. Hvert av utviklingspunktene er mer utfyllende omtalt i avsnitt 3.5.4, og kan oppsummeres i følgende punkter, som er mulig å gjennomføre på kort sikt (fram mot sommeren 2025):

- Varestrømmer som vil oppstå som følge av omstillingen mot lavutslippssamfunnet, herunder:
 - Produksjon og distribusjon av nye drivstoff, batterier og komponenter til kjøretøy- og verftsindustrien
 - Karbonfangst og lagring (CCS) fra f.eks. forbrenningsanlegg, industriproduksjon og (sjø)transport
 - Innfasing av sirkulærøkonomi
 - Utbygging av nye fornybare energikilder
- Autonome løsninger for ulike transportformer og terminaloperasjoner
- Klimaendringer og klimatilpasning
- Økte militære behov

På kort sikt (første halvår 2025) vil vi også anbefale at det gjøres utvikling og tilpasninger i likevektsmodellen NOREG 2, med tanke på utvidede muligheter for analyse i kommende NTP. Anbefalingene er omtalt nærmere i avsnitt 3.6.4 og 3.6.5, og kan kort oppsummeres

- Sterkere kobling til RTM/NTM6
- Modelltilpasning for analyser av klimaomstilling
- Utenrikshandel og eksportrettet grønn næringsvekst

De foreslåtte tilpasningene vil gi styrkede regionale makroøkonomiske utviklingsbaner i tråd med de sentrale utviklingstrekkene som skisseres fram imot 2050, hvor det tas hensyn til målene i klimaloven og målsettingen om næringslivets konkurransekraft.

Referanser

- Aarhaug J., Caspersen E., Fearnley N., Ramjerdi F., Ranheim P., Steinsland C. (2013) *Dokumentasjonsrapport: Inkrementelle etterspørselsmodell*, TØI rapport 1283/2013
- Adnan, M., Pereira, F. C., Azevedo, C. L., Basak, K., Lovric, M., Raveau, S., Zhu, Y., Ferreira, J., Zegras, C., & Ben-Akiva, M. (2016). SimMobility: A Multi-scale Integrated Agent-Based Simulation Platform.
- Aschenbrenner L. (2024) Situational awareness – the decade ahead (<https://situational-awareness.ai/wp-content/uploads/2024/06/situationalawareness.pdf>)
- Asgarpour, S., Hartmann, A., Gkiotsalitis, K. og R. Neef (2023): *Scenario-Based Strategic Modeling of Road Transport Demand and Performance: Scenario-Based Strategic Modeling of Road Transport Demand and Performance*. Transportation Research Record 2023, Vol. 2677(5), pp. 1415–1440
- Badu-Marfo, G., B. Farooq & Z. Patterson (2022). *Composite Travel Generative Adversarial Networks for Tabular and Sequential Population Synthesis*. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 1-10.
- Bischoff, J. & M. Maciejewski (2016): *Simulation of City-wide Replacement of Private Cars with Autonomous Taxis in Berlin*. Procedia Computer Science, 83, 237-244.
- Bischoff, F. J. Márquez-Fernández, G. Domingues-Olavarría, M. Maciejewski and K. Nagel, *Impacts of vehicle fleet electrification in Sweden – a simulation-based assessment of long-distance trips*, 2019 6th International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS), Cracow, Poland, 2019, pp. 1-7, doi: 10.1109/MTITS.2019.8883384.
- Casas, J., Ferrer, J.L., Garcia, D., Perarnau, J., Torday, A. (2010). Traffic Simulation with Aimsun. In: Barceló, J. (eds) Fundamentals of Traffic Simulation. International Series in Operations Research & Management Science, vol 145. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6142-6_5
- Caspersen E, Wangsness P B, Østli V, Madslien A (2015): *Dokumentasjon: GodsNytte-modellen*. TØI-rapport 1446/2015.
- DFØ (2023): *Veileder i samfunnsøkonomiske analyser*. Versjon fra juni 2023.
- Fellendorf, M., Vortisch, P. (2010). Microscopic Traffic Flow Simulator VISSIM. In: Barceló, J. (eds) Fundamentals of Traffic Simulation. International Series in Operations Research & Management Science, vol 145. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6142-6_2
- Flügel S og Jordbakke N. (2017). Videreutvikling av markedspotensialmodell for Oslo og Akershus (MPM23 v2.0), TØI-rapport 1596/2017
- Flügel, S., C. Weber, S.S. Klommstein, J. Korsmo, A.Kielland (2024): *Towards activity-based demand modelling for the Greater Oslo Area: Using machine learning to predict travel mode choice and activity plans*. Forthcoming TØI-report
- Flügel S, Weber C, Hamre T N (2024): *Muligheter for forbedret modellering av transporttiltak i by*. TØI-rapport 2035/2024
- Flügel S, Flötteröd G, Ringdal R, Weber C (2023): *TraModSim: an open-source traffic assignment tool for TraMod_By based on MATSim*. TØI-rapport 1993/2023
- Flügel, S. (2022). *Using machine learning to generate an agent-based travel demand representation for the greater Oslo region*. Public webinar
- Flügel S, Madslien A, Hulleberg N, Steinsland C, Johansen B G (2021): *Transportmodeller mot fremtiden. Muligheter for forbedrede modeller med fokus på reiser i byområder*. TØI-rapport 1819/2021

- Flügel S, Halse A H (2019): *Robotaxier – et mulig mareritt for nullvekstmålet*. Artikkel i Samferdsel, 2019.
- Flügel, S., & Hamre, T. N. (2019). En ny modell for forskyvning av reisetidspunkt i regionale transportmodeller. TØI-rapport, 1727/2019.
- Flügel S, Halse A.H., Hulleberg N., Jordbakke G.N. (2019): *Estimating the effect of vehicle automation on car drivers' and car passengers' valuation of travel time savings*. 41th Annual Meeting of the Norwegian Association of Economists in Tromsø
- Flügel S, Flötteröd G, Kwong C K, Steinsland C (2014): *Evaluation of methods for calculating traffic assignment and travel times in congested urban areas with strategic transport models*, TØI-rapport 1358/2014
- Flügel S., N. Fearnley, Toner J.P. (2018) What factors affect cross modal substitution – Evidences from the Oslo Area, International Journal of Transport Development and Integration 2(1):11-29
- Flügel, S., C. Weber, S.S. Klommstein, J. Korsmo, A.Kielland (2024) "Towards activity-based demand modelling for the Greater Oslo Area: Using machine learning to predict travel mode choice and activity plans" Forthcoming TØI-report
- Fridstrøm L, Hovi I B, Kristensen N B, Madslien A, Bruvoll A G, Gulbrandsen M, Seeberg A, Aalen P (2020): *Transportmodeller for klimaanalyse*. TØI rapport 1769/2020.
- Fridstrøm, L., & Østli, V. (2017). The vehicle purchase tax as a climate policy instrument. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 96, 168-189.
- Halse, A., Hauge, K. E., Isaksen, E. T., Johansen, B., & Raaum, O. (2024). Local Incentives and Electric Vehicle Adoption. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, kommende utgave.
- Handberg Ø N, Kristensen N B, Bruvoll A, Vennerød Ø, Frankmo M, Flügel S, Ulstein H (2024): *Veien til framtiden*. Menon-publikasjon 19/2024.
- Hansen, W. (2015): Makroøkonomiske effekter av ferjefri E39 – en SCGE-modellanalyse. TØI-rapport 1411/2015
- Hansen W., Johansen, B.G., (2016): Beregning av netto ringvirkninger på utvalgte prosjekter, NTP 2018-2029. TØI-rapport 1471/2016.
- Homleid, T., Wahlquist, H., & Bjørkås, E. (2022). Ada. Disaggregert valgmodell for transportanalyser.
- Horni, A., K. Nagel & K. Axhausen (2016): *Multi-Agent Transport Simulation MATSim*. London: Ubiquity Press.
- Hovi, I.B. og Strømstad, H. (2024). *Omstilling i godsbilparken mot 2030*. TØI-rapport 2039/2024.
- Isaksen og Johansen (2021). *Congestion Pricing, Air Pollution and Individual-Level Behavioural Responses*. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, working paper no. 362. Juni, 2021.
- Ivanova, O., Vold. A., Jean-Hansen, V. (2002): PINGO A model for prediction of regional and interregional freight transport. Version 1. TØI-rapport 578/2002
- Johansen, B.G., Østli, V. og Halse, A.H (2023). *Effekter av endringer i elbilfordeler*. TØI-rapport 1986/2023.
- Kishita, Y., Höjer, M., & Quist, J. (2024). Consolidating backcasting: A design framework towards a users' guide. *Technological Forecasting and Social Change*, 202, 123285
- Klimautvalget 2050 (2023): *Omstilling til lavutslipp. Veivalg for klimapolitikken til 2050*. Utredning avgitt til Klima- og miljødepartementet 27. oktober 2023. Særtrykk av NOU 2023:25

- Kommunal- og distriktsdepartementet m.fl (2022): *Presentasjon av arealdataverktøyet*, PPT av NTP faggruppe areal v/Tore Leite og Kjetil Bjørklund. Juni 2022. [PowerPoint-presentasjon \(regjeringen.no\)](https://www.regjeringen.no)
- Kristensen N B (2023): *Alternative utviklingsbaner til NTP 2025-2036 – Effekter av nye teknologier og samfunnstrender*. TØI rapport 1939/2023.
- Kristensen N B, Johansen B og Wangsness P (2023): *Presentasjon av nøkkeltall fra transportmodeller og samfunnsøkonomiverktøy*. TØI rapport 1941/2023.
- Kristensen N B, Thune-Larsen H (2023): *Luftfartsstrategiens klimatiltak: Hvordan påvirkes billettpriser, passasjertall og CO₂-utslipp? Beregninger med PACER-modellen*. TØI rapport 1956/2023.
- Lämmel, G., Klüpfel, H. and Nagel, K. (2009), *The MATSim Network Flow Model for Traffic Simulation Adapted to Large-Scale Emergency Egress and an Application to the Evacuation of the Indonesian City of Padang in Case of a Tsunami Warning*, Timmermans, H. (Ed.) Pedestrian Behavior, Emerald Group Publishing Limited, Leeds, pp. 245-265.
- Li, J., E. Rombaut & L. Vanhaverbeke (2021) A systematic review of agent-based models for autonomous vehicles in urban mobility and logistics: Possibilities for integrated simulation models. Computers, Environment and Urban Systems, 89, 101686.
- Madslie A, Lysø T, Steinsland C, Hovi I B, Hansen W og Johansen B G (2023): *Klimabaner – Framskriving av transportutvikling og utslipp*. TØI rapport 1957/2023.
- Madslie A og Steinsland C (2022): *Framskrivinger for persontransport til NTP 2025-2036*. TØI rapport 1926/2022.
- Madslie A, Hovi I B og Hansen W (2022): *Framskrivinger for godstransport til NTP 2025-2036*. TØI rapport 1918/2022.
- Nicolai, T.W., L. Wang, K. Nagel and P. Waddell (2011) Coupling an urban simulation model with a travel model – A first sensitivity test, Working Paper, 6.3, TU Berlin
- OECD (2023). *ITF Transport Outlook 2023*. [ITF Transport Outlook 2023 | ITF \(itf-oecd.org\)](https://www.itf-oecd.org/)
- Oslo Economics (2024). *Utvikling i vraking av kjøretøy i Norge*. Oslo Economics, 9. april 2024.
- Pernestål A., Kristoffersson, I (2019): *Effects of driverless vehicles - Comparing simulations to get a broader picture*. European Journal of Transport and Infrastructure Research 19(1):1-23
- Pinchasik, D.R. and Hovi, I.B. (2023). *Fuel redundancy in the Nordics*. TØI-report 1985/2023 (Confidential).
- Pinchasik, D.R. (2024). *Føringer og behov ved omstilling til et lavutslippssamfunn*. TØI-arbeidsdokument 52120-2024.
- Popper, R. (2008). How are foresight methods selected? *Foresight*, 10(6), 62-89.
- Produktivitetskommissjonen (2015). NOU 2015:1. Produktivitet – grunnlag for vekst og velferd. Produktivitetskommissjonens første rapport.
- Ranheim, P. (2017): *Trenklin versjon 3, Dokumentasjon og brukerveiledning*.
- Rekdal, J. og Hamre, T. (2024). *Videreutvikling av etterspørselsmodeller 2018-2024*. Numerika rapport 1/2024.
- Rekdal J, Hamre T, Steinsland C (2024): *Dokumentasjon: Forenkla modeller - fase 1. Prosjektforslag: Forenkla modeller - fase 2*. TØI arbeidsdokument 52113-2024.
- Riahi, K., Van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., Fricko, O. (2017). The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: an overview. *Global Environmental Change*, 42, 153-168.

- Rosendahl & Wangsness, (2024) *Review of the Shadow Price of Carbon in the EU*. TØI Rapport 2037/2024
- Rosnes, O., Erraia, J., Hansen W., Vennemo, H. (2020): Regional økonomisk framskriving basert på likevektsmodellen NOREG: Rapport 2020. Vista Analyse 8/2020.
- Rosnes, O., Vennemo, H., Hansen, W., Johansen, B. G., Skjerpen, T., Bruvoll, A., & Erraia, J. (2023). Kan regional utdanning hjelpe mot sentralisering?. *Samfunnsøkonomen*, 2023, 137(4): 53-66
- Samferdselsdepartementet (2024). *Nasjonal transportplan 2025–2036*. Meld. St. 14 (2023–2024)
- Steinsland C, Madslien A, Johansen K W, Wangsness P (2022): *Konseptvalgutredning veibruksavgift og bompenger, vedlegg 6-3 Transportmodellberegninger*. TØI rapport 1921/2022.
- Ukkonen A. og Flügel S (2020) Videreutvikling av Trenklin (versjon 3.2): Tilpasning av trengselsfunksjoner og valg av antall togsett per avgang, TØI-arbeidsdokument 51614
- van der Heijden, K. (1996). *Scenarios: The art of strategic conversation*: John Wiley & Sons.
- Vold. A., Jean-Hansen, V. (2007): PINGO – A model for prediction of regional and interregional freight transport in Norway. TØI-rapport 899/2007.
- Waddell, P. (2002) UrbanSim: Modeling urban development for land use, transportation and environmental planning *Journal of the American Planning Association*, 68(3), 297-314.
- Wardman, M., Toner, J., Fearnley, N., Flügel, S., & Killi, M. (2018). Review and meta-analysis of inter-modal cross-elasticity evidence. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 118, 662-681. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.10.002>
- Weydahl T, Grythe H, Steinsland C, Madslien A (2024): *NERVE. Dokumentasjon av revidert beregningsmodell for utslipp fra veitrafikk i norske kommuner*. NILU rapport xx/2024 (kommer).

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

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

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

TØI dekker alle transportmidler og temaområder innen samferdsel, inkludert trafiksikkerhet, kollektivtransport, klima og miljø, reiseliv, reisevaner og reiseetterspørsel, arealplanlegging, ITS, offentlige beslutningsprosesser, næringslivets transportbehov og generell transportøkonomi. Instituttet deltar aktivt i internasjonalt forskningssamarbeid, med særlig vekt på EUs rammeprogrammer.

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

Postadresse:

Transportøkonomisk institutt
Postboks 8600 Majorstua
0349 Oslo
Norge

Kontoradresse:

Forskningsparken
Gaustadalléen 21

E-post: toi@toi.no

Hjemmeside: www.toi.no

