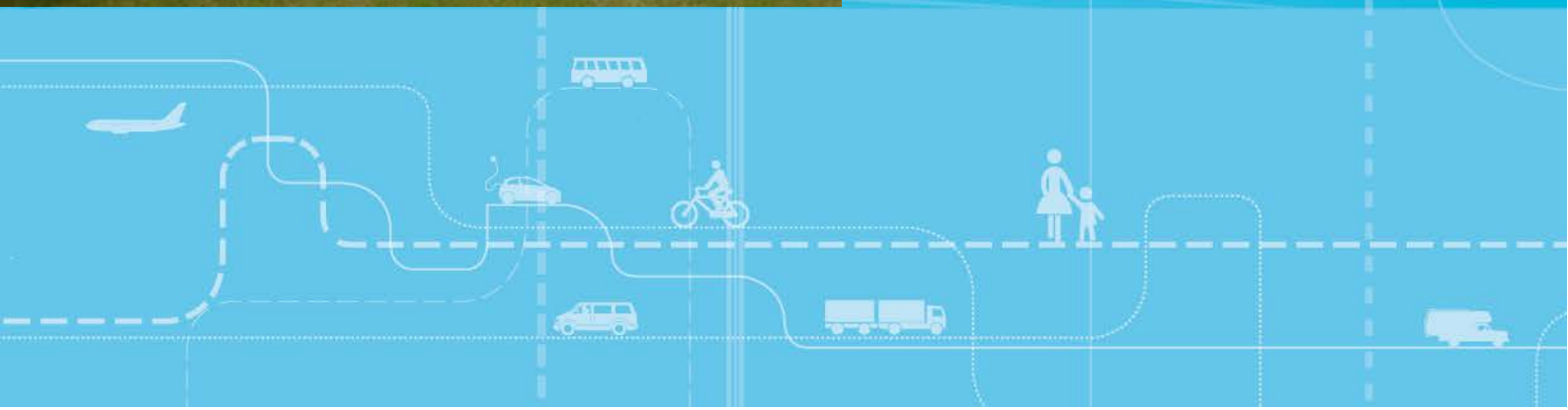


Lasse Fridstrøm
Inger Beate Hovi
Niels Buus Kristensen
Anne Madslien
Annegrete Bruvoll
Magnus Gulbrandsen
Aase Seeberg
Peter Aalen

Transportmodeller for klimaanalyse



Transportmodeller for klimaanalyse

Lasse Fridstrøm
Inger Beate Hovi
Niels Buus Kristensen
Anne Madslien
Annegrete Bruvoll
Magnus Gulbrandsen
Aase Seeberg
Peter Aalen

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

Tittel: Transportmodeller for klimaanalyse

Title: Transport modelling for climate policy support

Forfattere: Lasse Fridstrøm
Inger Beate Hovi
Niels Buus Kristensen
Anne Madslien
Annegrete Bruvoll
Magnus Gulbrandsen
Aase Seeberg
Peter Aalen

Authors: Lasse Fridstrøm
Inger Beate Hovi
Niels Buus Kristensen
Anne Madslien
Annegrete Bruvoll
Magnus Gulbrandsen
Aase Seeberg
Peter Aalen

Dato: 07.2020

Date: 07.2020

TØI-rapport: 1769/2020

TØI Report: 1769/2020

Sider: 70

Pages: 70

ISSN elektronisk: 2535-5104

ISSN: 2535-5104

ISBN elektronisk: 978-82-480-1750-9

ISBN Electronic: 978-82-480-1750-9

Finansieringskilde: Samferdselsdepartementet

Financed by: Norwegian Ministry of Transport and Communications

Prosjekt: 4871 Vurdering av transportmodellene – avrop 8

Project: 4871 Vetmod – vetting the Norwegian transport models

Prosjektleder: Lasse Fridstrøm

Project Manager: Lasse Fridstrøm

Kvalitetsansvarlig: Kjell Werner Johansen

Quality Manager: Kjell Werner Johansen

Fagfelt: Samfunnsøkonomiske analyser

Research Area: Economic analyses

Emneord: Klima, virkemiddel, transport, modell

Keywords: Climate, policy instruments, transport, modelling

Sammendrag:

Rapporten gjennomgår og vurderer de viktigste modellene for transporttilbud og -etterspørsel i Norge, med særlig henblikk på klimapolitisk analyse. Hovedvekten er lagt på modellene RTM, NTM6, NGM, GodsNytte, Pingo, BIG og FRAM3. RTM er et system av fem regionale persontransportmodeller for reiser inntil 70 km én veg. NTM6 er en nasjonal persontransportmodell for innenlandske reiser over 70 km én veg. NGM står for nasjonal godstransportmodell og dekker all godstransport til og fra norske kommuner. GodsNytte er en ettermodell til NGM til beregning av samfunnsøkonomisk nytte og kostnad ved ulike tiltak. Pingo er en romlig generell likevektsmodell for regionalisering av nasjonal økonomisk utvikling til bruk i NGM. BIG er et regnearkssystem for strømmer og beholdninger av kjøretøy inndelt etter kjøretøyklasse, vekt, energiteknologi og alder, supplert med en logit-modell for kjøp av nye personbiler. FRAM3 er en beregningsmodell for samfunnsøkonomiske analyser av person- og godstransport, med hovedvekt på sjøfart.

Summary:

The Norwegian transport modelling system has been evaluated as a set of decision support tools for climate policy analysis. The system consists of several vehicle, travel and freight demand models linked with networks and models for infrastructure and transport supply. The evaluation sets out to describe each model in considerable detail, to assess each model's strength and weaknesses, and to identify opportunities for improvement, synergy and coordination. In general, the modelling system is found to have considerable value for climate policy formulation and assessment. Ongoing and potential new endeavours to improve the models could further enhance their usefulness.

Language of report: Norwegian

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

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

Forord

Teknisk beregningsutvalg for klima ble oppnevnt i juni 2018. Utvalget skal blant annet peke på områder der det vurderes å være særlig behov for kunnskapsutvikling innenfor virkemiddelanalyser, samt gi råd om forbedringer i metodene for virkemiddelanalyser på klimaområdet. Utvalget la frem sin første rapport i juni 2019.

Som ledd i videreutvikling av kunnskapsgrunnlaget har utvalget ønsket en vurdering av hvordan de norske transportmodellene kan brukes til analyse av klimapolitikken. Samferdselsdepartementet har på denne bakgrunn satt ut et oppdrag med sikte på en beskrivelse av det eksisterende modellsystemet, en vurdering av hvor egnet modellsystemet er til å analysere klimaeffekter av ulike typer virkemidler, samt en vurdering av potensialet for videreutvikling av modellapparatet eller datagrunnlaget med tanke på klimavirkemiddelanalyser. Oppdraget er avrop 8 i rammeavtalen om klimatiltak mellom Samferdselsdepartementet og Menon Economics, Transportøkonomisk institutt (TØI) og DNV GL. Den foreliggende rapporten er et samarbeid mellom TØI og Menon.

Prosjektleder på TØIs hånd har vært Lasse Fridstrøm, som også har redigert rapporten. Han har dessuten hatt hovedansvaret for omtalen av persontransportmodellene og kjøretøymodellen BIG. Inger Beate Hovi har hatt hovedansvaret for omtalen av godstransportmodellene. Anne Madslie har kvalitetssikret beskrivelsene av person- og godstransportmodellene. Niels Buus Kristensen har primært arbeidet med perspektivene for forenkling, samordning og videreutvikling av modellene. Annegrete Bruvoll har hatt prosjektlederansvaret på Menons hånd og har beskrevet hvordan statsbudsjettets poster påvirker klimagassutslippene. Magnus Gulbrandsen og Aase Seeberg har hatt ansvar for omtalen av modellen FRAM3. Peter Aalen har bidratt til å kvalitetssikre omtalen av transportmodellene. Kjell Werner Johansen har stått for den endelige kvalitetssikringen på TØIs hånd. Trude Kvalsvik har hatt ansvar for den endelige layout og redigering.

Oslo, juli 2020

Transportøkonomisk institutt

Gunnar Lindberg
Direktør

Kjell W. Johansen
Avdelingsleder

Innhold

Sammendrag

1	Innledning og bakgrunn	1
2	Persontransportmodellene RTM og NTM6	3
2.1	Historikk	3
2.2	Soner, nettverk og reiseetterspørsel	3
2.3	Regioninndeling	5
2.4	Modellkjøringer	6
2.5	Forutsetninger om bilreiser	8
2.6	Forutsetninger om kollektivtransport	9
2.7	Forutsetninger om gående og syklende	9
2.8	De lange reisene	9
2.9	Aktører	10
2.10	Atferdsforutsetninger og variable	11
2.11	Eksogene og endogene variable	13
2.12	Handlingsalternativer	13
2.13	Teknologi	14
2.14	Dynamikk	15
2.15	Klimavirkninger	16
2.16	Virkemiddelanalyse	16
2.17	Reiseetterspørselsmodellens sterke og svake sider	18
3	Nasjonalt godsmodellssystem	24
3.1	Oversikt	24
3.2	Varestrømsmatriser	24
3.3	Bedriftsdata	26
3.4	Likevektsmodellen Pingo	26
3.5	Kostnadsmodellene	27
3.6	Nettverksmodellen	28
3.7	Logistikkmodulen	29
3.8	Aktører	30
3.9	Atferdsforutsetninger	31
3.10	Eksogene og endogene variabler	31
3.11	Teknologi	32
3.12	Dynamikk	32
3.13	GodsNytte	33
3.14	Behov og muligheter for videreutvikling	34
4	Kjøretøymodellen BIG	40
4.1	Motivasjon	40
4.2	Strømmer og beholdninger	40
4.3	Framskrivingsmodulen	41

4.4	Bilkjøpsmodulen.....	44
4.5	Historikk.....	44
4.6	Dynamikk.....	45
4.7	Atferdsforutsetninger	46
4.8	Output.....	47
4.9	Forbedringspunkter	48
5	Kystverkets modell FRAM	49
5.1	Beskrivelse av modellsystemet	49
5.2	Struktur.....	49
5.3	Aktører.....	50
5.4	Eksogene og endogene variabler	51
5.5	Atferdsforutsetninger	51
5.6	Teknologi.....	52
5.7	Virkemiddelanalyse	52
5.8	Tidsperspektiver og typer av effekter.....	53
5.9	Sterke og svake sider.....	54
5.10	Databehov og datakvalitet	54
5.11	Muligheter for videreutvikling.....	55
6	Samordning og synergi mellom modellene	56
7	Forenkling og operasjonalisering av modellene	59
8	Statsbudsjettets klimaeffekter	61
8.1	Priseffekter, endrede kostnader for utslipp av klimagasser.....	61
8.2	Endret tilbud eller etterspørsel etter utslippsintensiv transport.....	61
8.3	Endret tilbud eller etterspørsel etter alternativer til utslippsintensiv transport....	62
9	Oppsummerende vurdering	64
	Litteratur	66

Sammendrag

Transportmodeller for klimaanalyse

TØI rapport 1769/2020

Forfattere: Lasse Fridstrøm, Inger Beate Hovi, Niels Buus Kristensen, Anne Madslie, Annegrete Bruvoll, Magnus Gulbrandsen, Aase Seeberg og Peter Aalen
Oslo 2020 73 sider

Det norske modellsystemet for person- og godstransport består blant annet av modellene RTM, NTM6, NGM, GodsNytte, Pingo, BIG og FRAM3. Modellene bygger på detaljerte data om reise- og varestrømmer og kan med ganske stor grad av presisjon beregne klimaeffektene knyttet til et vidt spekter av virkemidler, herunder infrastrukturinvesteringer, skatter, avgifter og subsidier, bompenger og vegprising, ferje- og kollektivtilbud og -takster, samt fysiske og regulatoriske rammebetingelser. Pågående og planlagte modellrevisjoner vil gjøre modellsystemet enda mer velegnet for klimapolitisk analyse. Modellsammenhengene er i begrenset grad gjennomskuelige for utenforstående. Bruk av modellene er forholdsvis tidkrevende og forutsetter betydelig spesialkompetanse. Den viktigste feilkilden ved modellframskrivingene er at en må gjøre antakelser om den framtidige utviklingen i en rekke grunnlagsfaktorer og inndata. Disse antakelsene er nødvendigvis usikre.

Bakgrunn og formål

Teknisk beregningsutvalg for klima ble oppnevnt i juni 2018. Utvalget har ønsket en vurdering av hvordan transportvirksomhetenes modeller kan brukes på klimaområdet. Av særlig betydning er hvor godt egnet transportmodellene er til ulike typer klimarelevant virkemiddelanalyse, samt i hvilken grad det er behov og potensial for forbedringer i modellene eller i datagrunnlaget.

Norske modeller som er relevante for virkemiddelanalyse og beregninger av klimagass-utslipp og -kostnader, og som omtales inngående i denne utredningen, er følgende:

- RTM – regionale persontransportmodeller, én for hver av fem regioner, for reiser inntil 70 km én veg ('korte reiser')
- NTM6 – nasjonal persontransportmodell, for innenlandske reiser over 70 km én veg ('lange reiser')
- NGM – nasjonal godstransportmodell, for all godstransport mellom norske kommuner og mellom norske kommuner og utlandet
- GodsNytte – en ettermodell til NGM til beregning av neddiskontert samfunnsøkonomisk nytte og kostnad ved ulike tiltak
- Pingo – en regionalisert generell likevektsmodell for framskriving av nasjonal økonomisk utvikling til bruk i NGM
- BIG – TØIs bilgenerasjonsmodell, et regnearkssystem for strømmer og beholdninger av kjøretøy inndelt etter kjøretøyklasse, vekt, energiteknologi og alder, supplert med en logit-modell for kjøp av nye personbiler
- FRAM3 – Kystverkets beregningsmodell for samfunnsøkonomiske analyser av person- og godstransport, primært til sjøs

Beskrivelse av modellsystemet

Struktur

Reiseetterspørselsmodellene (**RTM** og **NTM6**) er praktisk talt heldekkende for den innenlandske persontransporten. De omfatter så å si alle innenriks reiserelasjoner og alle reisemidler, også de reisene der tjenestene ikke omsettes i noe marked, men produseres av de reisende selv – bilister, syklistene eller fotgjengere. 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. Klimagassutslippene 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**), én for hver (tidligere) vegregion. På basis av de regionale modellene kan det dannes delområdemodeller (**DOM**), dersom det er behov for en annen geografisk avgrensning. Modellene gir i prinsippet resultater på nokså detaljert geografisk nivå (reisestrømmer fra grunnkrets til grunnkrets), som i de fleste anvendelser likevel aggregeres opp til større enheter.

Reiseetterspørselsmodellene er simultane strukturelle modeller, basert på økonometrisk estimerte relasjoner for kvalitative konsumvalg. Det samme gjelder bilkjøpsmodulen i **BIG** (se nedenfor). 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 bompengetakster eller andre bilbrukskostnader vil f.eks. føre til at flere går, sykler eller tar bussen. Økte drivstoffavgifter eller økt engangsavgift på bensin- og dieslbiler vil føre til at flere kjøper elbil.

I reisetterspørselsmodellene er det konkurranse, ikke bare mellom reisemidler, men også mellom reisemål og reiseruter. Endringer i infrastrukturen, f.eks. raskere vegforbindelser, vil kunne forrykke 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 veglenke 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.

Godstransportmodellene – **NGM**, **GodsNytte** og **Pingo** – er, analogt med reiseetterspørselsmodellene, heldekkende for varestrømmer innenriks, og dessuten for import, eksport og transitt. 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 *Pingo*. Tilbudssiden er representert ved *kostnadsfunksjoner*, en *nettverksmodell* og en *logistikkmodul*.

Varestrømsmatrisene – én for hver av 39 varegrupper – representerer årlig vareflyt mellom norske kommuner 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 veg-, sjø-, jernbane- og flytransport, samt omlastingspunkter (terminaler og havner) mellom disse. Kostnadsmodellen og logistikkmodulen brukes til å optimalisere sendingsstørrelse, sendingsfrekvens og transportmiddelvalg.

GodsNytte er en ettermodell til **NGM** som brukes til å beregne den samfunnsøkonomiske nytten. Likevektsmodellen *Pingo* representerer hele den norske økonomien og brukes blant annet til å regionalisere nasjonale framskrivingsbaner for verdiskaping. De regionaliserte

vekstbanene knyttes så til varestrømmer mellom og internt i hver sone i NGM. Modellsystemet for godstransport kan karakteriseres som en blanding av 'top-down'- og 'bottom-up'-modeller.

Kjøretøymodellen **BIG** er en 'bottom-up'-bilgenerasjonsmodell basert på en firedimensjonal inndeling av kjøretøyparken i 11 253 ulike celler. Til hver av cellene i bestandsmatrisen er det tilordnet kjennetegn av økonomisk eller energi- og miljøpolitisk interesse, så som årlig kjørelengde, lastekapasitet, energiforbruk per km, CO₂-, PM₁₀- og NO_x-utslipp per km, mv. Ved å summere gjennom hele matrisen kan en få fram det samlede trafikkarbeidet, utslippet, energiforbruket osv. i et enkelt år.

Modellen framskriver bestanden i hver celle år for år ved hjelp av Markov-kjedeprikket. Det vil si at bestanden i år n følger av bestanden i år $n-1$, modifisert av et sett endringsrater (tilgangs-/avgangsrater), som angir strømmer av kjøretøy inn til og ut av hvert segment og hver aldersklasse. Segmentene er for hver kjøretøyklasse definert gjennom en kryssgruppering mellom vekt og energiteknologi (framdriftsteknologi, drivlinje)¹. Framskrivningen av personbilbestanden skjer med støtte i en egen valgmodell for nye personbiler ('bilkjøpsmodulen').

FRAM3² utgjør kjernen i Kystverkets modellapparat for analyser av tiltak rettet mot sjøtransport. Modellen er rettet inn mot å analysere samfunnsøkonomiske virkninger av eksogent gitte endringer i skipstrafikken og er sentrert rundt analyser av hvordan endringer i trafikkomfang, fartøysammensetning, operasjonsmønster eller skipenes egenskaper påvirker ulike deler av samfunnet. Vurderinger av atferdsendringer knyttet til valg av ruter mellom to destinasjoner gjøres ved hjelp av en maskinlært rutevalgsmodell, som benytter observert atferd til å predikere endringer i framtidig seilingsmønster.

Aktører

Aktørene i persontransportmodellene (**RTM** og **NTM6**) er først og fremst *individer* 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 hvilke kollektivtilbud innbyggerne i de ulike soner står overfor, 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.

Godstransportmodellen **NGM** skiller ikke spesifikt mellom ulike aktører, men varestrømsmatrisene representerer *transportkjøpernes* behov for transport mellom kommuner og mellom kommuner og soner i utlandet. Disaggregeringen fra varestrømmer mellom kommuner til varestrømmer mellom bedrifter ivaretar *heterogenitet* i *bedriftspopulasjonen* mht. bedriftsstørrelse. Transportnettverket og kostnadsfunksjonene representerer *transporttilbudet*. Modellen differensierer ikke direkte mellom utenlandske og norske *transportutøvere*. Kostnadene for lastebil/trekkvogn er et vektet gjennomsnitt av norske og utenlandske biler, og vektningen kan differensieres avhengig av hvilket land varene kommer fra eller skal til. For sjøtransport

¹ I denne utredningen brukes de tre betegnelse framdriftsteknologi, energiteknologi og drivlinje som synonymer.

² Den versjon av FRAM3 som omtales i denne rapporten, viser til modellversjon FRAM3.2.

er det benyttet internasjonalt kostnadsnivå på *skipstyper* hvor utenlandske *rederier* eller internasjonale flagg i stor grad er praksis.

Kjøretøymodellen **BIG** inneholder ingen persondata – kun data om selve kjøretøyene. Tilgangen og avgangen av kjøretøy er likevel å forstå som resultat av menneskelige beslutninger, fattet av bilenes *kjøpere, selgere, eiere* og *brukere*. *Myndighetene* påvirker beslutningene gjennom skattlegging, subsidiering, regulering, investeringer og offentlige innkjøp.

FRAM3 er rettet inn mot analyser av konkrete *skip* og deres seilaser, men inneholder i liten grad eksplisitt modellering av berørte markedsaktører eller deres beslutninger. Flåtesammensetning og trafikkmønster tar utgangspunkt i observert trafikk basert på [AIS](#)-data beriket med informasjon om skipenes dimensjoner og egenskaper hentet fra skipsregistre.

Eksogene og endogene variabler

Individenes atferdsvalg er som hovedregel *endogen* bestemt i **RTM** og **NTM6**. 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. *Pris-* og *reisetidselastisitetene* i RTM og NTM6 er også *endogen* bestemt.

Lokalisering og *arealbruk* er eksogene størrelser, som i prinsippet kan endres gjennom manuelle justeringer av inndata til modellen.

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 nye veger, kollektivruter og flyruter eller av endrede ferge-, bompeng- og kollektivtakster. Ved å gjøre endringer i de generaliserte kostnadsfunksjonene kan en simulere effektene av dyrere eller billigere drivstoff eller andre reiseutgiftselementer.

Førerkortinnehav og *bilhold* på sonenivå blir *endogen* bestemt i bilholds- og førerkortmodeller og vil variere ut fra demografi, geografi mv. Befolkningssammensetning og privat konsum angis *eksogen*, på basis av framskrivninger fra Statistisk sentralbyrå (SSB) og Finansdepartementet.

Godstransportmodellene tar utgangspunkt i en *eksogen* gitt etterspørsel i form av en *varestrømsmatrise* som beskriver vareflyten mellom soner og bedrifter. *Sendingfrekvens, transportkjeder, kjøretøy-/fartøystørrelse* og *rutevalg* er imidlertid *endogen* og beregnes av modellen.

I forbindelse med behovet for transportprognoser til arbeidet med Nasjonal transportplan er den regionaløkonomiske likevektsmodellen Pingo utviklet til å regionalisere nasjonale vekstbaner for næringsvis utvikling (fra Perspektivmeldingen, eventuelt andre offentlige dokument), slik at disse vekstbanene kan legges til grunn for framtidig utvikling i godsstrømmene. En delmodul i Pingo, som inneholder en [gravitasjonsmodell](#), benyttes til å regionalisere de *eksogene* nasjonale vekstbanene basert blant annet på befolkningsprognoser fra Statistisk sentralbyrå (SSB) og kryssløpsinformasjon om input-output i 89 økonomiske regioner. Likevektsmodellen i Pingo kan videre brukes til analyser av hvordan store *eksogene*

kostnadsendringer (blant annet som følge av endringer i rammebetingelser eller infrastrukturprosjekt) påvirker omfanget av og lokaliseringen av varestrømmene.

BIG-modellen er først og fremst et regnskapssystem for kjøretøyparken, som knytter forbindelsen mellom (i) *beholdningen* (bestanden) av kjøretøy ved utløpet av hvert enkelt år og (ii) de ulike *strømmene* inn til og ut av bestanden hvert år. Disse strømmene består av nybilsalg, bruktimport, brukteksport, vraking og annen avregistrering. Den mest avgjørende *eksogene* input til modellen er tilgangen på *nye kjøretøy* hvert år. Sammensetningen av nybilsalget bestemmer i hvilken retning kjøretøyparken vil utvikle seg. Dette gjelder for personbiler så vel som for varebiler, lastebiler, trekkbiler, bobiler og busser. *Bestandene* av kjøretøy er således *endogene*. Det samme gjelder kjøretøyenes trafikkarbeid, godstransportarbeid, energiforbruk og avgassutslipp. For hver celle i bestandsmatrisen bestemmes disse størrelsene på grunnlag av *eksogent* gitte kjørelengder, utslipps- og energiforbruksrater, etc. Avgangsratene i hver årsklasse av kjøretøy er også *eksogent* gitt, basert på erfaringstall fra motorvognregistret. Som default brukes faste sett med rater, men de kan endres manuelt.

Til støtte for inputen av nye personbiler er det estimert en hierarkisk logit-modell for bilkjøpernes valg mellom de ca. 2000 modellvariantene som er tilgjengelige i markedet i løpet av et enkelt år. *Eksogene* variabler i denne bilkjøpsmodulen er kjøpsavgiftene (engangsavgiften og momsen, spesifisert for hver bilmodell hvert år), drivstoffavgiftene og -prisene, samt strømprisene. En kan også *eksogent* variere visse teknologikjennetegn, så som bilenes elektriske rekkevidde. Den *endogene* output fra bilkjøpsmodulen er de ulike *bilmodellenes* og *energiteknologienes markedsandeler*. Modellen predikerer ikke *samlet nybilsalg* – dette må angis *eksogent*.

FRAM3 analyserer samfunnsøkonomiske virkninger av *eksogent* gitte endringer i skipstrafikken. Den *endogene* output fra modellen består av ulike typer verdsatte effekter.

Beregninger av energiforbruk tar utgangspunkt i informasjon om skipenes utforming, framdriftssystem og forholdet mellom normal servicehastighet og observert hastighet i det relevante området som analyseres. Effekten av værforhold som bølger og vind kan også tas hensyn til i beregningene. Anslått energibehov fordeles deretter på syv ulike energibærere med tilhørende virkningsgrader og utslippsfaktorer. Dette framskrives så med prognoser for utvikling i trafikkomfang og endringer i flåtesammensetning i tillegg til forventede endringer i drivstoffsammensetning og energieffektivitet som følge av teknologiutvikling og virkemiddelutforming.

Atferdsforutsetninger

Til grunn for atferdsrelasjonene i **RTM** og **NTM6** ligger en allmenn forutsetning om at individ og hushold maksimerer nytte i samsvar med mikroøkonomisk teori og teorien om kvalitativ valghandling. Individet tenderer til å velge det reisemålet og det reisemidlet som gir lavest generalisert kostnad. Heri inngår både objektive kontantutgifter og subjektive tidskostnader og andre opplevde ulemper. Et individ med mange attraktive reisemål og reisemidler 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. Reiseatferdsmodellene er estimert på grunnlag av den landsomfattende reisevaneundersøkelsen (RVU) i kombinasjon med nettverksdata om reisehastigheter og rutetilbud.

I **godstransportmarkedet** er grunnforutsetningen fullkommen konkurranse mellom transportutøverne, hvilket presser prisene ned til et nivå der driftsmarginene er nesten null. Men likevektsmodellen **Pingo** er utviklet slik at modellen kan kjøres enten med antakelse

om fullkommen konkurranse i alle markeder eller med antakelse om monopolistisk konkurranse i alle eller noen utvalgte markeder.

Transportmiddelfordelingen følger i godstransportmodellene av en forutsetning om at de generaliserte transportkostnadene minimeres. Systemet inkluderer kun kostnadselementer som forklaringsvariabler. For hver varestrøm, relasjon og bedriftskategori beregner modellen hvilken frekvens, sendingsstørrelse og transportkjede og eventuelt hvilke omlastingspunkter for skifte av transportmiddel som minimerer transportkostnaden. Transportkjeden kan bestå av alt fra ett til fire ulike transportmidler.

BIG-modellen er i utgangspunktet et forholdsvis mekanisk rammeverk, der kjøretøybestandene ruller framover og produserer tjenester og utslipp i samsvar med erfaringsbaserte tilgangs- og avgangsrater, kjørelengder og energiforbruksrater. Implisitt i disse faste ratene ligger en forutsetning om uendret atferd *på cellenivå i bestandsmatrisen*. I noen tilfeller er nivået gitt for en bestemt *aldersgruppe* av kjøretøy i en bestemt kategori. I andre tilfeller er atferden forutsatt konstant for den enkelte *kohort* (årskull) av kjøretøy. Eksempelvis er drivstofforbruket for et bestemt kjøretøy forutsatt uendret gjennom hele kjøretøyets levetid – forbruket er *kohortspesifikt*. Med kjørelengdene forholder det seg motsatt – disse er *aldersspesifikke*. Jo eldre kjøretøyet blir, desto mindre brukes det.

Bilkjøpsmodulen i BIG er den eneste delen med substansielt økonomisk-teoretisk innhold. Bilkjøperne antas å velge den modellvarianten som gir størst nytte. Men modellen har ingen opplysninger om personene eller foretakene som kjøper bil. Således inneholder nyttefunksjonene kun kjennetegn ved *bilene*. Modellen er generisk, dvs. at ingen koeffisienter er knyttet til bestemte bilmodeller. I prinsippet kan modellen derfor predikere markedsandelen for en bilmodell som ennå ikke er kommet på markedet, så sant de relevante kjennetegn ved bilen er kjent: listepriis, engangsavgift, moms, drivlinje, energiforbruk, elektrisk rekkevidde, girkasse, størrelse, karosseritype, bilmerke, antall dører, samt for-, bak- eller firehjulsdrift. Ifølge de empiriske estimatene i bilkjøpsmodulen tar norske bilkjøpere fullt og helt hensyn til framtidige energiutgifter når de velger bil; det er ingen tegn til at bilkjøperne er 'nærsynte' og overser eller nedtoner framtidige utlegg.

Alle personbilmodeller konkurrerer i bilkjøpsmodulen med hverandre, uten vanntette skott noe sted. Men fordi bilfabrikantene gjerne markedsfører mange nokså like varianter av samme bilmodell, er krysspriselasitetene større innenfor et bestemt bilmerke enn på tvers av ulike bilmerker. Priselasitetene er på avgjørende måte avhengig av aggregeringsnivået. Dersom bare én bilmodellvariant får endret pris, er utslaget i denne modellvariantens markedsandel mye større enn dersom prisendringen gjelder en større gruppe biler, f.eks. alle biler av samme merke eller med samme type drivlinje.

FRAM3-modellen er ikke basert på eksplisitte antakelser om atferdsendringer for aktørene, men benytter observerte data. Observert og framtidig trafikkomfang, fartøyssammensetning og operasjonsmønster reflekterer imidlertid en rekke ulike aktørers preferanser og atferd gitt markedsforhold, relevante virkemidler og infrastruktur. Modellen håndterer kapasitetsutfordringer og beregner kødannelse og ventetid over hele analyseperioden basert på observerte og framskrevne anløpsfrekvenser. Rent modellteknisk er dette en køprosess, der det antas at alle skipstyper og lengdegrupper anløper i henhold til en Poisson-prosess. Den skipsspesifikke anløpsraten kan gjøres avhengig av år, årstid, tid på døgnet og anløpsretning. Det er ingen begrensninger på lengden av køen, ingen skip blir avvist. Kømodellen kjøres for hver spesifiserte periode (kombinasjon av år, årstid og tid på døgnet) og beregner gjennomsnittlig ventetid i en stabil likevekt for et slikt system for hver periode, og så aggregert til hvert år.

Rutevalgsmodellen tilhørende FRAM3 kan benyttes til å modellere atferdsendringer. Modellen er maskinlæringsbasert og skal sette seg inn i og predikere rutevalget det enkelte skip tar i en helt konkret kontekst. Rutevalget kan være diktert av navigatør, rederi eller vareeier; det tar modellen ikke stilling til. Modellen benytter en rekke observerte data, så som metadata om skipet, fakta om forholdene på rutevalgstidspunktet (vind, nedbør, bølger, lys/mørke), data om de aktuelle rutene man kan velge mellom (dybde, bredde, forventede kursendringer). Basert på disse dataene lærer modellen seg mønstre i hvilke variabler som bestemmer rutevalget.

Handlingsalternativ

For individene og husholdene er handlingsalternativene, slik de er spesifisert i persontransportmodellene **RTM** og **NTM6**, 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. På kort sikt vil førerkortinnehav og bilhold ofte være gitt, men det er ingenting til hinder for å la også disse variablene variere endogent.

I **godstransportmodellene** står transportkjøperne overfor beslutninger om sendingsstørrelse og frekvens på sendingene. Sendingsstørrelse er en viktig faktor for valg av transportløsning, fordi det for forskjellige transportmidler er ulik grad av avtakende enhetskostnader både mht. lastvekt og transportdistanse.

For myndighetene er de aktuelle handlingsalternativene både for **person- og godstransport** primært knyttet til endringer i transportnettverkene. Det kan dreie seg om nye eller raskere vegforbindelser, endringer i skiltet hastighet eller gjennomsnittsfart på de enkelte veglenkene, endringer i avgangshyppighetene og reisetidene for buss, bane, fartøy og fly, eller endringer i bompengetakstene og i avgiftene og prisene på ferger, kollektivreiser og flyreiser. Ved å regulere arealbruken kan myndighetene på nasjonalt eller lokalt nivå påvirke lokaliseringen av boliger og virksomheter og slik også endre reise- og varestrømmene. I tillegg kan myndighetene påvirke transportetterspørselen gjennom budsjettvedtak som endrer prisene på kjøretøy og drivstoff, eller ved å endre regelverket for inntektsskatt. Mer generelt er utviklingen i husholdenes konsum eller disponible inntekt av stor betydning for kjøretøy- og transportetterspørselen.

I **BIG**-modellen er det foreløpig bare i bilkjøpsmodulen aktørene har eksplisitt formulerte handlingsvalg. Personbilkjøperne velger bilmodell og bestemmer derved langt på veg klimagassutslippene fra kjøretøyet i 15-20 år framover. I framskrivingsdelen av BIG ligger bilkjøpernes handlingsvalg implisitt i de eksogene forutsetningene om nye kjøretøy i hver klasse hvert år. I mangel av bedre informasjon er det vanlig å forlenge den trenden en kan observere etter 2010. Alternativt kan tilgangen på nye kjøretøy spesifiseres i samsvar med offentlige plandokument eller politiske mål.

FRAM3 inneholder ikke modellering av spesifikk atferd og identifiserer således ingen handlingsalternativer.

Teknologi

Reiseetterspørselsmodellene legger, kort fortalt, dagens og til en viss grad gårsdagens teknologi til grunn. Alle motorkjøretøy antas å ha en fører. Bruk av kjøretøyet antas å medføre en gjennomsnittlig drivstoffutgift per kilometer. Det vil si at modellene ikke har egne

kostnadsfunksjoner eller handlingsalternativ for autonome kjøretøy eller kjøretøy med elektromotor. De generaliserte kostnadsfunksjonene for bilreiser opererer foreløpig med bare én sorts bil med én kilometerkostnad. En vil imidlertid i forholdsvis nær framtid trolig ha løst dette problemet, ved at bilholdet og kilometerkostnaden differensieres etter drivlinje. Bilene er i ferd med å bli mer uensartet, og dette vil etter hvert bli reflektert i RTM og NTM6. Til bruk for klimaanalyseformål kan det være viktig at modellen skiller mellom nullutslippsbiler, hybrider og biler med (kun) forbrenningsmotor.

Fergeteknologien er også i endring, i retning av nullutslippsfartøy. Dette får betydning for reiseatferden i den grad det slår ut i billettprisene. Utslippsratene kan justeres på fergestrekningsnivå.

For **godstransporten på veg** er den dominerende teknologien fortsatt dieseldrift, i modellene så vel som i virkeligheten. Dette kan, med noen modellmodifikasjoner, tilpasses i et prognoseår ved at en f.eks. legger inn en vektet endring i de tids- og distanseavhengige kostnadene for noen lastebilkategorier. En kan eventuelt legge dette inn ved å inkludere en eller flere nye kjøretøytyper i modellen, med alternative energiteknologier som biogass, batteri eller hydrogen. Utfordringen er hvordan en kan legge inn en bibetingelse knyttet til begrenset rekkevidde, spesielt for den batterielektriske varianten.

Også for sjøtransport er det mulig å legge til flere fartøyskategorier, men her er det utført mindre arbeid med å utvikle kostnadsfunksjoner for alternative teknologier. For sjøtransport er det også mer enn tre ganger så mange kategorier i godsmodellen som det er for lastebiler. Dette gjør at en fort vil ende opp med et svært stort antall kostnadsfunksjoner, selv om det, på grunn av størrelse og krav til rekkevidde, for mange av skipskategoriene ikke vil finnes alternativ til dagens framdriftsteknologi før et godt stykke fram i tid.

I **BIG**-modellen er skillet mellom framdriftsteknologier så å si hovedpoenget. Modellen spesifiserer 11 ulike typer drivlinje: bensin, diesel, batteri, hydrogen, ladbar bensinhybrid, ladbar dieselhybrid, ikke-ladbar bensinhybrid, ikke-ladbar dieselhybrid, gass, parafin og restkategorien 'annet'. Modellen beregner hvor raskt kjøretøybestanden endrer seg som følge av innovasjon i markedet for nye kjøretøy.

FRAM3-modellen tar utgangspunkt i dagens observerte flåtesammensetning i et gitt geografisk område, med tilhørende egenskaper og teknologi. Energiforbruket framskrives gitt forventninger om teknologisk utvikling og forventet utvikling i bruk av ulike energibærere. I modellen skilles det mellom teknologisk utvikling knyttet til skipenes netto energibehov for framdrift per seilingstime og hvordan dette energibehovet fordeles på ulike energibærere. Ettersom ulike energibærere har ulike virkningsgrader, beregnes deretter behovet for kjøp av energi i markedet for hver energibærer. På den måten skiller modellen mellom forventet utvikling i teknologi og overgang til andre energibærere.

Dynamikk

Reiseetterspørselsmodellene RTM og NTM6 beregner partielle likevektsløsninger for persontransporten innenlands, men sier ingenting om forløpet fram til en ny likevekt. Sammenlikningen mellom ulike scenarioer følger med andre ord logikken i såkalt *komparativ statikk*. En ser for seg ulike mulige faktiske, kontrafaktiske eller framtidige tilstander, og studerer forskjellene mellom dem, uten å ta stilling til hvilke prosesser som har frambrakt de ulike tilstandene, eller hvor lang tid det har tatt å nå dit.

Noe liknende gjelder i **godstransportmodellene**, men modellen Pingo knytter her forbindelsen mellom godstransportsektoren og økonomien for øvrig. Pingo er egnet til å

regionalisere eksogent gitte nasjonale vekstbaner og til å analysere hvordan store kostnadsendringer påvirker omfanget og lokaliseringen av varestrømmene. Modellverktøyet kan ikke fullt ut predikere endringer i bedrifters lokaliseringsmønster over tid eller hvorvidt det oppstår ny produksjon på lokaliteter hvor det ikke er produksjon av denne varetypen i utgangspunktet, heller ikke hvordan bedriftseiere velger å omstrukturere driften i færre eller flere produksjonsenheter. For slike analyser må det derfor gjøres manuelle korrigeringer i inngangsdataene til modellene.

Kjøretøyparken er en treg masse. Det vil, selv under de mest optimistiske forutsetninger, ta tid før ny, utslippsfri teknologi har fått et slikt innpass i kjøretøyparken at det monner i klimagassregnskapet. Hvor raskt vi makter å innfase nullutslippsteknologi i vegtrafikken er avgjørende for om vi kan nå klimamålene i samferdselen. Hovedmålet med framskrivingsdelen av **BIG**-modellen er å holde rede på dette på en konsistent og systematisk måte, ved å knytte forbindelsen mellom bestanden av kjøretøy ved utløpet av hvert enkelt år og de ulike strømmene inn til og ut av bestanden hvert år. Modellen opererer kun med nettostrømmer, dvs. at bestandsendringene fra ett år til det neste har tolkning som antall nye kjøretøy pluss bruktimport minus summen av brukteksport, vraking og annen avregistrering. I de yngre årsklassene vil normalt bruktimporten være den største komponenten, slik at endringsraten er positiv. For eldre personbiler er vraking den dominerende bruttostrømmen. For tunge godsbiler er brukteksport en viktig komponent. Både vraking og brukteksport innebærer negative endringsrater. Brukteksporten bidrar til at innfasingen av ny teknologi i Norge kan gå forholdsvis raskt.

Vurdering av modellsystemet

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 vegprising
- endring i reisefradraget ved skattelikningen
- endring i energiteknologi
- endret framtidig lokalisering og arealbruk

Virkningen av *infrastrukturinvesteringer* kan belyses ved at en gjør endringer i vegnettet, 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 – med ett forbehold³ – konkurransen mellom reisemål. Ved hjelp av gitte energi-forbruks- og utslippsrater vil modellen omregne endringene i reisestrømmer til endringer i aggregert klimagassutslipp.

På tilsvarende måte kan modellene beregne etterspørsels- og klimaeffektene av nye *kollektiv-ruter 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-ruter⁴, som betjenes med støtte fra det offentlige, må en ta hensyn til om anbudskontrakten setter grenser for billettprisene.

Endring i *drinstoffprisene* 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 veglenker. Åpning av en ny, bompengebelagt veglenke 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 byregionen, der en skiller mellom trafikkstrømmene i og utenfor rushtid. Et mer generelt system for *allmenn vegprising* kan studeres ved at en for hver veglenke fastsetter en kilometeravgift, som kan variere med tid på døgnet, vegens beskaffenhet, bilens egenskaper og folketettheten langs vegen. Full beredskap for slik analyse vil en først få når RTM og NTM6 er utvidet med flere typer drivlinje i personbiler. Når denne modellforbedringen er på plass, vil modellene også kunne kaste lys over andre typer tiltak rettet mot mindre klimavennlige kjøretøy, så som *lavutslippssoner, 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 reiseveg til jobb.

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

Politiske mål av typen ‘nullvekst i biltrafikken i byene’, ‘halvering av klimagassutslippene’ eller liknende kan ikke simuleres direkte 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 foreløpig nokså svakt dekket i RTM og NTM6, all den stund det opereres med bare én type personbil og en ensartet kilometerkostnad. Kreativ bruk av modellsystemet kan likevel gjøre det mulig å studere klimautslippsfølgene av økt elbilandel. En kan kjøre modellen én gang for hushold med hver type bil (bensin-/dieselbil, elbil, hybrid, osv.) og ‘late som’ om dette er hele befolkningen/bilparken. Deretter summerer en reisestrømmene fra de ulike kjøringene, men justerer tidskostnadene slik at en tar hensyn til at alle kjøretøy bruker det samme vegnettet og slik reduserer hverandres framkommelighet. En mer elegant løsning på dette problemet vil en kunne få når bilholds-

³ Forbeholdet gjelder reisemål i ca. 70 km avstand, se avsnittet om modellenes sterke og svake sider.

⁴ FOT= forpliktelse til offentlig tjenesteyting, eksempelvis Widerøes kortbaneruter eller Go-Aheads kontrakt på Sørlandsbanen.

og førerkortmodellene er videreutviklet i retning av differensiert bilhold, med valgsannsynligheter for ulike typer biler avhengig av husholdskjennetegn og den lokale geografiske konteksten – konkret forekomsten av fergeruter, bompengebelagte veger, kollektivfelt, mv.

I **godstransportmodellene** kan en, på samme måte som i reiseetterspørselsmodellene, beregne virkningene av infrastrukturendringer, fergetilbud, drivstoffpriser, bompenger og vegprising. I tillegg kan modellene brukes til å studere

- endringer i fysisk tilgjengelighet og omlastingskostnader (endret effektivitetsklasse) for ulike terminaler
- endringer i fysiske eller regulatoriske rammebetingelser som f.eks. maksimal tillatt lengde, akseltrykk og/eller totalvekt for kjøretøy og vogntog
- ulike geografiske adgangsbegrensninger, som f.eks. nullutslippssoner i bysentra, men da må først nullutslippskjøretøy implementeres som en valgmulighet i transportmodellen.

I bilkjøpsmodulen av **BIG** kan en beregne endringer i nybilsalget som følge av

- endringer i listepriene for et utvalg av nye personbiler, som følge av økte produksjonskostnader/importpriser og/eller økte avgifter
- endringer i engangsavgiften for personbiler
- endringer i momsreglene for personbiler
- endringer i drivstoffavgiftene eller -prisene
- endringer i strømprisen
- endringer i bilenes energieffektivitet
- endringer i elbilenes og/eller de ladbare hybridenes elektriske rekkevidde

En kan gjerne også regne på kombinasjoner av disse.

Beregningene gjøres med utgangspunkt i det utvalget bilmodeller som var tilgjengelig et bestemt år. Siste observasjonsår i nåværende modellversjon er 2016, men det arbeides med forlenging av datamaterialet til 2019. En simulering med dagens modell er å tolke som en kontrafaktisk analyse per 2016 – en beregner den hypotetiske, kortsiktige effekten på nybilsalget dersom visse uavhengige variable ikke hadde hatt de verdiene en har observert i datamaterialet, men et annet sett verdier. Output fra en beregning med bilkjøpsmodulen er markedsandeler for de enkelte (grupper av) modellvarianter og et gjennomsnittlig, typegodkjent CO₂-utslipp fra nye personbiler. Det er vanlig å aggregere opp for hver type drivlinje og beregne elastisitetene for henholdsvis bensinbiler, dieslbiler, elbiler, ladbare hybrider og ikke-ladbare hybrider.

For å få fram den langsiktige effekten av pris- og avgiftsendringene må en stappe den beregnede endringen i markedsandeler inn i BIGs framskrivingsdel, regne framover og sammenlikne med en referansebane. Her må en ta stilling til om den beregnede endringen skal være permanent eller bare gjelde for et bestemt år.

Bilkjøpsmodulen skiller mellom slike prisøkninger som har opphav i økte produksjons- og markedsføringskostnader (les: importpriser) og slike som skyldes avgiftsendringer. De siste har større etterspørselseffekt enn de første, fordi høyere produksjonskostnader assosieres med høyere kvalitet, noe som virker positivt på etterspørselen.

For andre kjøretøyklasser enn personbiler inneholder BIG ingen forklaringsmodell for de enkelte drivlinjenes markedsandeler. I framskrivinger spesifiseres disse markedsandelene eksogent, ofte som en trendforlenging, eventuelt i samsvar med politiske måltall. En kan på skjønnsmessig grunnlag legge inn det en oppfatter som plausible antakelser om framtidens kjøretøyteknologi og -marked. I en slik sammenheng kan en f.eks. legge vekt på

- tilskuddet til kjøp av lav- og nullutslippsteknologi for vare- og lastebiler, gjennom Nullutslippsfondet administrert av Enova
- kunnskap om langsiktige effekter av endrede energipriser
- kunnskap om langsiktige perspektiver for batteri- og brenselcelleteknologi

Helt uten poeng er en så skjønnsmessig øvelse ikke. En får fram hvordan bestemte antakelser om *strømmen* av nye kjøretøy slår ut i *beholdningen* (bestanden) av kjøretøy på 5, 10, 20 eller 30 års sikt, og dermed også i vegtrafikkens langsiktige energiforbruk og avgassutslipp. BIG regner ett og ett år fram, helt til 2050.

Ved hjelp av **FRAM3** kombinert med øvrige deler av det tilgrensende analyseverktøyet vil en kunne vurdere en rekke ulike tiltak og virkemidler, som f.eks.

- infrastrukturinvesteringer, som flytting eller utbedring av havner og farleder
- endret operasjonsmønster, som redusert hastighet eller overføring mellom farleder
- endret fartøys sammensetning
- energieffektiviseringstiltak
- endringer i drivstoffsammensetning

Modellen er svært detaljert når det gjelder beregninger av energiforbruk og utslipp, som i prinsippet kan analyseres for enkeltfartøy hvis ønskelig. Det gir høy grad av fleksibilitet til å analysere en rekke ulike klimarelaterte problemstillinger.

Endringer i flåtesammensetning, energieffektivitet og drivstoffsammensetning kan også legges inn eksogent, dersom man for eksempel ønsker å beregne utslippsvirkningen av framskyndet flåtefornying, teknologiutvikling/-implementering eller overgang til mer miljøvennlig drivstoff.

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 reiseformål, 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') – en måte å beregne (endring i) *konsumentoverskuddet* på som svarer omtrentlig til det aktuelle arealet til venstre for etterspørselskurven.

Fordelingseffektene av virkemiddelbruken kan være vanskelige å få fram, i hvert fall dersom vi tenker oss fordeling langs inntektsdimensjonen. Det skyldes at modellene ikke har data om inntekt på husholdsnivå, og at inntektstall på grunnkretsnivå heller ikke er tilgjengelige. I Statistikkbanken på www.ssb.no finner en likevel inntektstall per kommune, fordelt på husholdstyper. Dette kan gjøre det mulig med inntektsfordelingsanalyser på kommunenivå, da riktignok med en viss risiko for nivåfeilslutninger, altså at en feiltolker sammenhenger på gruppenivå som gjeldende også på individnivå.

Fordelingsvirkningene langs andre dimensjoner, så som kjønn, alder, bostedsregion, husholdstype, husholdsstørrelse eller bilhold, er enklere å få fram. Det må imidlertid

advares mot å regne bilholdet som utenfra gitt (eksogent) i en fordelings- eller konsekvensanalyse. Mange areal- og transporttiltak vil ha som effekt at bilholdet endrer seg, i alle fall på noe sikt; det gir da dårlig mening å betinge med hensyn på bilholdet.

Tidshorisonten for reiseetterspørselsmodellene er i prinsippet så lang som modellbrukeren ønsker, og i praksis bestemt av den eksogene inputen: befolkningsprognoser, makroøkonomiske perspektiver, samt nettverksdata om framtida.

Godstransportmodellen beregner transportmiddelfordelte tonn, transportarbeid (i) innenriks, (ii) på norsk område og (iii) i alt (til/fra opprinnelses-/destinasjonsland) fordelt på de 39 varegruppene, samt for import, eksport og transitt. Transportkostnader beregnes fordelt på ulike komponenter. Det er ingen funksjonalitet til å beregne klimagassutslippet direkte i godstransportmodellen, men dette kan gjøres i ettermodellen *GodsNytte*. Denne er utviklet til å beregne neddiskontert samfunnsøkonomisk nytte og kostnader basert på retningslinjene til Direktoratet for forvaltning og økonomistyring (DFØ). Grunnlaget er output fra Nasjonal godsmodell for en basissituasjon og minst ett alternativscenario i to framtidsår.

For sjøtransport er utslippsberegningene basert på bakgrunnsdata fra [Havbase](#)⁵, fordelt på 8 dødvektstonn-kategorier og 14 skipstyper. Dette er vektet sammen til gjennomsnittsverdier for de to hovedfartøyskategoriene i NGM.

Output fra **BIG**-modellen innbefatter tall for kjøretøybestanden, utkjørte kjøretøykilometer, utført godstransportarbeid, drivstoff- og energiforbruk etter energibærere, CO₂-, NO_x-, PM₁₀- og SO₂-utslipp, alt i prinsippet kryssfordelt på kjøretøyklasse, drivlinje, vekt og alder. I praksis er tabellutskriftene noe mer aggregert.

Modellen er satt opp til å regne år for år fram til 2075, men i praksis bruker en ikke lengre tidshorisont enn 2050. Da er en allerede to kjøretøygenerasjoner inn i framtida. Lengre framskrivinger enn dette vurderes som for spekulativt.

Framskrivingsdelen av BIG inneholder ingen priser, kostnader, inntekter eller andre økonomiske størrelser. Bilkjøpsmodulen har imidlertid listepreis- og avgiftsdata for alle modellvarianter og kan beregne så vel etterspørselskurver som direkte- og krysspriselastisiteter. Samlet avgiftsproveny framkommer også. I prinsippet vil det være mulig å beregne endringer i bilkjøpernes konsumentoverskudd, slik at en f.eks. kan få fram den samfunnsøkonomiske kostnaden ved avgiftsfritakene for elbiler. Men noen slik beregning er foreløpig ikke gjort. Mer generelt er modellen velegnet til å sammenlikne ulike bilavgiftsregimer. En sammenlikning er allerede gjort mellom det danske, det svenske og det norske avgiftssystemet.

FRAM3 beregner og prissetter en rekke samfunnsøkonomiske virkninger over en tidshorisont på opp mot 75 år fra ferdigstillings-/implementeringsåret. En kan skille mellom (i) virkninger for trafikanter og transportbrukere, (ii) virkninger for det offentlige og (iii) virkninger for samfunnet for øvrig.

I tillegg kan virkninger for operatører som havner og lostjeneste beregnes og prissettes. Alle virkningene prissettes i henhold til gjeldende vegledningsmateriale og føringer knyttet til NTP. Resultatene kan oppgis i kroner og øre eller ulike mengdeenheter som for eksempel tonn CO₂ redusert, liv, timer og distanse spart, enten per år eller over hele analyseperioden.

⁵ Havbase viser AIS-data (posisjonsmeldinger) for fartøy i 6 minutters intervaller. AIS står for Automatic Identification System. Kystverket drifter AIS Norge, som gir kontinuerlig oversikt over skipstrafikken langs norskekysten.

Modellenes sterke og svake sider

Persontransportmodellene **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 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 parametre 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, vegnett, 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 framskrivningen, fordi en bommer ved spesifikasjon av den eksogene inputen (priser, folkemengde, sysselsetting, mv.). Den viktigste feilkilden ved modellframskrivningene 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 tid 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 (rutevalgmodell). Dette er tidkrevende i modeller med mange soner. I forbindelse med en framskrivning 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 vegnettet 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 samferdselen og resten av økonomien. Ved små endringer har dette liten betydning. Men ved store endringer i f.eks. infrastrukturen kan tilbakevirkningene mellom transport og arealbruk være betydelige, i alle fall på lokalt nivå.

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 har detaljer på fint geografisk nivå liten betydning.

Verdien av reisetid er et annet punkt der ulike deler av modellsystemet ikke alltid gir samme svar. Heller ikke dette har særlig betydning ved klimautredninger.

Bilholdsmodellen i RTM/NTM6 opererer foreløpig med helt homogene biler. Det er arbeid i gang med å differensiere bilene og deres utslippsegenskaper og kilometerkostnader, i samsvar med utviklingen i retning av langt mer uensartede personbiler. Dette aspektet har atskillig relevans for klimaanalyse.

RTM og NTM6 dekker hver for seg reiser som er henholdsvis over og under 70 km lange hver veg. Modellene kommuniserer ikke. Det betyr at reisemål i henholdsvis 65 og 75 km avstand ifølge modellene ikke konkurrerer med hverandre.

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.

Godstransportmodellen har sin styrke i at den i prinsippet dekker all godstransport innenriks i Norge, samt import, eksport og transitt, alle transportformer og alle områder. Modellen får fram konkurranseforholdet mellom transportmidlene på ulike geografiske nivå. Valg av transportmiddel er basert på minimering av bedriftenes logistikkostnader.

Godstransportmodellen tar utgangspunkt i informasjon om varestrømmer mellom par av kommuner og til/fra utlandssoner for et gitt år. Dette kan være dagens situasjon eller et framtidsår. Likevektsmodellen Pingo er utviklet til å kunne regionalisere eksogent gitte makroøkonomiske vekstbaner og anvende disse som grunnlag til å framskrive varestrømsmatrisene til et prognoseår. Også i godsmodellen er priselastisitetene endogene og vil variere geografisk avhengig av varesammensetning og tilgjengelighet til ulike transportformer.

Modellen er kalibrert slik at den skal gi en transportmiddelfordeling som gir god overensstemmelse med overordnet nasjonal transportytelsesstatistikk.

I likhet med reisetterspørselsmodellene er også godsmodellen gjenstand for stadig modifisering og forbedring og står neppe tilbake for planleggingsverktøyet i noe annet land. Også godstransportmodellen er allment tilgjengelige for enhver med tilstrekkelig kompetanse til å bruke den. Det krever betydelig spesialkompetanse å kjøre modellen, og det tar tid – både maskintid og persontid, selv om selve kjøretiden for modellen er kortere enn for persontransportmodellene. Likevektsmodellen Pingo krever i tillegg at brukeren har gyldig [Gamslisens](#) og har tilgang til bestemte algoritmer.

Det krever en del ressurser å holde modellsystemet oppdatert og operativt. Endringer i vegnettet og i annen infrastruktur kan implementeres i nettverksdelen av NTM6 og overføres til godsmodellen. Godstransportmodellen er partiell og tar ikke hensyn til vekselvirkningene mellom samferdselen og resten av økonomien. Ved små endringer har dette liten betydning. Men ved store endringer i f.eks. infrastrukturen kan tilbakevirkningene mellom transport og arealbruk være betydelige, i alle fall på lokalt nivå, og da må Pingo kjøres iterativt med godsmodellen.

Generelt er usikkerheten i modellen større på finere geografisk nivå og for spesifikke varegrupper. Men for klimaanalyser har slike detaljer liten betydning.

BIG framskriver kjøretøybestanden i makro fordelt på kjøretøyklasse, drivlinje (energiteknologi), vekt og alder. Beregnet CO₂-utslipp i makro stemmer temmelig godt med klimagassregnskapets tall for CO₂-utslipp i vegtrafikk, men BIG tenderer til å tilskrive personbilene en større andel enn i klimagassregnskapet. Muligens skyldes det at BIG omregner 'typegodkjente' utslipp fra personbiler til 'virkelige' ved hjelp av korreksjonsfaktorer for nye personbiler i EU, som hvert år publiseres av [ICCT](#) i Berlin. Siden marsjarten på norske hovedveger er vesentlig lavere enn generelt i EU, kan en korreksjon som passer for EU, være i største laget for Norge. En annen mulighet er at det offisielle klimagassregnskapet ikke fullt og helt tar høyde for det store avviket mellom laboratoriemålte og virkelige utslipp – nesten 40 prosent for nye personbiler solgt i EU i 2015–17, [ifølge ICCT](#).

BIG er *nesten* heldekkende for motorkjøretøy. Akkurat som i RTM og NTM6 er motorsykler og mopeder utelatt. Ambulanser er ikke inkludert, ei heller terrenggående kjøretøy som snøskutere og firehjulinger, traktorer eller annet maskineri som normalt ikke ferdes på veg.

BIGs fremste fortjeneste er å ivareta konsistens mellom tilgangen, avgangen og bestanden av kjøretøy i alle klasser og grupper. Siden aldersinndelingen er ettårig, og modellen regner ett og ett år fram, oppstår det ingen (dis)aggregeringsproblemer av betydning.

Modellen er i utgangspunktet ikke samordnet med verken RTM, NTM6 eller NGM. En kan imidlertid tilpasse modellinputen slik at input og/eller output på et visst aggregert nivå passer med nærmere angitte størrelser i person- og godstransportmodellene.

Bilkjøpsmodulen i BIG er økonometrisk estimert og danner bindeledd mellom avgiftspolitikken, prisutviklingen, teknologiutviklingen og utviklingen i personbilparken. Så vidt vites er bilkjøpsmodulen i BIG den eneste økonometriske modellen hittil som har kunnet beregne krysspriselasiteter mellom personbiler med ulike drivlinjer, inkludert elbiler. Også direkte- og krysspriselasitetene med hensyn på de respektive energiprisene har latt seg beregne.

Bilkjøpsmodulen egner seg godt til klima- og finanspolitisk analyse av bilavgiftene – primært engangsavgiften, merverdiavgiften og drivstoffavgiftene. En får fram de ulike drivlinjenes markedsandeler, det gjennomsnittlige CO₂-utslippet og avgiftsprovenyet.

En svært viktig forenkling en har gjort i BIG-modellen, er å se bort fra alle persondata. Modellen 'vet' ingenting om kjøretøyenes eiere – ikke engang deres bostedsfylke. Dette gir rom for en svært detaljert beskrivelse av selve kjøretøyene. Men det innebærer at endringer i bileiernes forhold ikke kan analyseres, heller ikke kontekstuelle variable tilknyttet regionen eller lokalsamfunnet. BIG har ingen regional oppdeling. På plussiden må nevnes at modellen ikke trenger noen input om personers forhold for å predikere markedsandelene, verken mikro- eller makrodata.

Den samlede tilgangen av nye kjøretøy i hver klasse hvert år angis eksogent. BIG-modellen inneholder ingen del som forklarer den aggregerte etterspørselen etter nye kjøretøy.

Bortsett fra i bilkjøpsmodulen har relasjonene i BIG lite atferdsteoretisk innhold. De er nærmest av mekanisk art: Endringene i kjøretøyparken, trafikkarbeidet, energiforbruket og avgassutslippene framkommer, som default, som resultat av faste avgangs- og tilgangsrater, kjørelengder og energiforbruksrater per km, alt spesifisert for hver av de 11 253 cellene i kjøretøymatrisen.

Den viktigste svakheten ved BIG er at driften av modellen er personavhengig. To personer ved TØI kan hver for seg bruke henholdsvis framskrivingsmodulen og bilkjøpsmodulen. Verken modellrelasjonene eller brukergrensesnittet er dokumentert på en slik måte at modellen er allment tilgjengelig. Per i dag må modellbrukeren manuelt angi tilgangen på

nye kjøretøy hvert år, etter kjøretøyklasse, vekt og drivlinje. Det er således arbeidskrevende å utarbeide et nytt scenario.

FRAM3 og tilhørende analyseverktøy er svært godt egnet til detaljerte samfunnsøkonomiske beregninger av ulike farleds- og havnetiltak på en effektiv og konsistent måte. Modellapparatet er også rettet inn mot å utnytte den store datatilgangen som finnes innen sjøtransport, der AIS og metadata fra skipsregistre gir rik tilgang på mikrodata knyttet til enkeltfartøys operasjonsmønster og egenskaper. Modellapparatet utgjør imidlertid ikke et komplett transportmodellsystem og er først og fremst rettet mot å analysere tiltakspakker for farledsutbedringer i avgrensede geografiske områder eller tiltak i enkelthavner. Modellene er derfor mindre egnet til å analysere mer omfattende tiltak over større geografiske områder eller endringer i nasjonale virkemidler.

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 radikale nyvinninger vil bli mottatt. Det vil ta tid før helt nye former for transport kan implementeres i modellene: 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. Det er liten grunn til optimisme på dette punkt.

Innovasjon som innebærer mer marginale forbedringer i kjente transportmidler, kan være noe lettere å innpasse. Men heller ikke dette er trivielt. Med den differensiering av bilholdet som planlegges implementert i RTM/NTM6, vil en kunne fange opp at nye energiteknologier innebærer lavere kilometerkostnader og utslipp. Om reisetiden eller billettprisen med et bestemt framkomstmiddel 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 veger 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 om hvordan personene ter seg i møte med den nye teknologien.

Godstransportmodellen er ikke på samme måte som persontransportmodellene avhengig av informasjon om observert atferd, men er basert på kostnadsminimerende prinsipper. Selve kostnadsstrukturen i modellen er svært detaljert bygget opp, og en implementering av lav- og nullutslippsteknologi i modellen vil medføre en økning i antall potensielle kjøretøy- og fartøystyper i modellen. Det arbeides med utvikling av denne type kostnadsfunksjoner for vegtransport. Utfordringen er stor usikkerhet om utviklingen i det som i dag er svært betydelige merkostnader ved investering. For sjøtransport har en foreløpig ikke jobbet med å utvikle kostnadsfunksjonene i modellen for disse framdriftsteknologiene.

Godstransportmodellen har vært benyttet til analyser av ulike grader av autonomi, med ulike forutsetninger om drivstoffbesparelser og sparte sjåførkostnader.

I **BIG**-modellen står brukeren nokså fritt til å legge inn større innslag av ny teknologi – riktig nok ikke enhver tenkelig teknologi, men en eller flere av de 'alternative' drivlinjer som har fått plass i kjøretøymatrisen. Mest aktuelt er batteri- eller hydrogenelektrisk drift, ladbare eller ikke-ladbare hybrider, eller biogass. Det finnes dessuten en restkategori ('annet') som eventuelt kan reserveres for nye framdriftsløsninger, og om nødvendig kan den nesten tomme gruppen 'parafin' omdefineres. Bruk av biodrivstoff i bensin- eller dieselmotorer krever ingen endring i modellen; det er den samme motorteknologien som

om kjøretøyene går på fossilt drivstoff. Alt i alt er BIGs framskrivingsmodul godt rustet til å ta høyde for innovasjon på kjøretøyområdet. Men for nye framdriftsteknologier vil en typisk mangle empiriske data om avgangsrater (overlevelsesrater); her må en improvisere og f.eks. kopiere inn avgangsratene for dieselskjøretøy, eventuelt med en passende justering.

Med hensyn til nye personbiler, må den nye teknologien få en viss utbredelse før en kan beregne etterspørselen ved hjelp av bilkjøpsmodulen. Eksempelvis har salget av hydrogenbiler hittil vært for lite til at de har kunnet tas med i den økonometriske analysen.

Siden bilkjøpsmodulen er generisk, er det i prinsippet mulig å anslå etterspørselen etter hypotetiske nye varianter av dagens elbiler med en antatt betydelig lengre rekkevidde. Men det forutsetter at prisen er kjent, på linje med bilens øvrige egenskaper.

FRAM3 kan benyttes til å analysere endringer i flåtesammensetning, energieffektivitet og drivstoffsammensetning ved å legge det inn som eksogene sjokk i modellen. Slik kan en beregne for eksempel utslippsvirkningen av framskyndet flåtefornying, teknologiutvikling eller -implementering eller overgang til mer miljøvennlig drivstoff.

Databehov og datakvalitet

For reiseetterspørselsmodellene **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 vaske dataene og ferdigstille dem for forskning og analyse. Enda lengre tid tar det før nettverksdata er påkodet og reisene er satt sammen til turkjeder, så en kan estimere reisemiddelvalgmodeller. En risikerer i stadig større grad at datamaterialet er utdatert før det kan tas i bruk og danne grunnlag for modellering.

Skjerpede rutiner for datahåndtering legger også hindringer i vegen for mange forskere og modellutviklere. De opplever det eksempelvis som stadig mer krevende, kostbart og byråkratisk å motta data fra Statistisk sentralbyrå.

Godsmodellen er også svært dataintensiv. Utfordringen er at det ikke finnes løpende undersøkelser som kartlegger varestrømmene i Norge. Dette er gjort i to omganger, i SSBs varestrømsundersøkelser fra 2008 og 2014. Begge disse undersøkelsene har vært kostbare å utføre. Det har krevet et betydelig etterarbeid å etablere varestrømsmatriser til bruk i godstransportmodellen, siden varestrømsundersøkelsene ikke på langt nær har dekket alle varestrømmer i Norge.

Også kostnadsfunksjonene er, om ikke så dataintensive, så ganske krevende å oppdatere, fordi de i stor grad er basert på informasjon som av konkurransehensyn kan være vanskelig tilgjengelig.

BIG-modellen er i hovedsak basert på administrative registerdata: bestandsdata fra motorvognregistret (Autosys), kjørelengder fra PKK-registret (PKK = periodisk kjøretøykontroll), listepriser fra OFV (Opplysningsrådet for Veitrafikken, som også tilrettelegger data om nyregistreringer fra motorvognregistret). I tillegg brukes data fra lastebilundersøkelsene, tabellariske oversikter fra Statistisk sentralbyrå, kjøringer med HBEFA-modellen og utslippsdata fra ICCT. Det er avgjørende at disse datakildene forblir åpne og lett tilgjengelige.

Særlig avgjørende er data om nye personbilers CO₂-utslipp, på modellvariantnivå. Omleggingen av Autosys kan se ut til å ha skapt noen utfordringer her.

FRAM3-modellen er i hovedsak basert på observerte trafikkdata fra skipenes AIS-sendere. Dette er detaljerte data som viser skipenes posisjon for ulike tidspunkter, og er svært omfangsrike. I tillegg beriker modellen disse dataene med metainformasjon om egenskaper ved skipene. Dette er basert på internasjonale skipsregistre. Modellen er i stor grad basert på offentlig tilgjengelige og åpne data.

Modellen benytter også metadata om skipet, fakta om forholdene på rutevalgstidspunktet (vind, nedfør, bølger, lys/mørke) og data om de aktuelle rutene man kan velge mellom (dybde, bredde, forventede kursendringer).

Videreutvikling av modellsystemet

Forbedringspunkter

Med tanke på klimaanalyse er den fremste svakheten ved den nåværende versjon av **RTM** og **NTM6** at de ikke skiller mellom utslippsfrie personbiler og biler med forbrenningsmotor. Det er imidlertid arbeid i gang for å løse dette problemet, og det finnes kortsiktige ad hoc-løsninger i bruk som reduserer det.

Reiseetterspørselsmodellene retter seg, som betegnelsen antyder, først og fremst mot å forklare og predikere markedet for persontransport, herunder også den store delen som består i egenproduksjon. Klimaeffektene følger av veksten og vridningen i etterspørselen, i henhold til nokså mekaniske proporsjonalitetssammenhenger gjeldende for de enkelte reisemidler. Utslippsratene og endringene i disse må spesifiseres eksogent. Det er tenkelig at en ved hjelp av en før- eller ettermodell for reisemidlenes energieffektivitet og avgassutslipp kunne få bedre grunnlag for å forutsi virkningene av den teknologiske utviklingen, eller i det minste knytte denne opp mot et fåtall strategiske, eksogene variabler. En annen mulighet er integrasjon med **BIG**-modellen. **BIG** beregner CO₂-utslipp totalt og per kjøretøykilometer for et stort antall kjøretøytyper fram mot 2050.

Også for **godstransportmodellen** er den fremste svakheten for klimaanalyser at null-utslippskjøretøy og -fartøy ikke er implementert i modellen. Modellen beregner heller ikke klimagassutslipp direkte; dette gjøres i ettermodellen *GodsNytte*, men kan også gjøres med utgangspunkt i drivstofforbruk i kostnadsfunksjonene og trafikkarbeid fordelt på hver av modellens nesten 60 typer kjøretøy/fartøy.

Når det gjelder **BIG**-modellen, vil det viktigste utviklingsprosjektet bestå i dokumentasjon og allmenngjøring. Det er behov for å forenkle brukergrensesnittet, slik at modellen kan bli lettere tilgjengelig. I denne forbindelse ville det også være ønskelig å automatisere og parameterstyre inputen.

Bilkjøpsmodulen beregner markedsandelene på modellvariantnivå eller et hvilket som helst større aggregat. Men det samlede kjøpet av nye personbiler bestemmes ikke i noen modell. Det er ønskelig å supplere bilkjøpsmodulen med en økonometrisk modell for samlet etterspørsel etter personbiler.

Det ville også være interessant å endogenisere enkelte andre av sammenhengene i **BIG**-systemet – mest åpenbart de årlige kjørelengdene og tilgangen på nye godsbiler.

På overordnet nivå kan noen mulige videreutviklingsområder for **FRAM3** være å utvide modellapparatets bruksområder, integrere mer av de utenforliggende modellene for å utvikle et mer helhetlig analyseverktøy og gjøre det enklere å bruke modellen til delanalyser

og beregninger av enkeltvirkninger. I tillegg vil det alltid være muligheter for å videreutvikle de enkelte elementene i modellen. Det er også et stort potensial for å videreutvikle den maskinlærte rutevalgsmodellen, særlig ved å utvide datagrunnlaget den er basert på.

Datagrunnlag

Den tradisjonelle innhenting av **reisevanedata** ved hjelp av spørreskjema møter stadig større utfordringer og kan muligens med fordel suppleres med mer innovative metoder, f.eks. ved hjelp av mobilapper eller administrative data fra teleleverandørene. For å komme noen veg med dette trengs grundig planlegging og systematisk, nytenkende analyse.

På godssiden er det behov for å oppdatere **varestrømsmatrisen** med ikke altfor lange mellomrom. For best mulig informasjon om varestrømmene, uavhengig av hvor godset eventuelt omlastes undervegs, kreves det en ny varestrømsundersøkelse.

Til **BIG**-modellen trengs nye uttrekk fra motorvognregistret, PKK-registret og Lastebilundersøkelsen og et budsjett for jevnlig oppdatering og vedlikehold.

Samordning og synergi mellom modellene

De tre modellsystemene for persontransport, godstransport og kjøretøybestand er i liten grad integrert med hverandre. Det er rom for visse gevinster ved å la de ulike modellene 'snakke med hverandre'. En slik samordning trenger ikke ta form av full teknisk ('hardwired') integrasjon. En kan antakelig komme langt ved hjelp av mer løselig etablerte prosedyrer for å kjøre modellene i iterativ vekselvirkning med hverandre.

I forholdet mellom person- og godstransportetterspørsel er den mest åpenbare fellesnevneren transportnettverkene. Både personbiler, busser og godsbiler bruker det samme vegnettet. Etter hvert som trafikken nærmer seg vegnettets kapasitet, oppstår det negative eksternaliteter mellom kjøretøygruppene, først og fremst i form av økt transporttid. I dagens RTM ligger det inne en lastebilmatrise for å ta hensyn til at godsbilene er med på å belaste vegnettet. Det brukes normalt en fast lastebilmatrise, men tanken er at man på sikt skal kunne ta inn en matrise direkte fra godsmodellen.

Tilsvarende problematikk gjelder for jernbanenettet. Et særlig interessant spørsmål er hvorvidt det vil gi klimagevinst å la godstogene få høyere sporprioritet, på bekostning av passasjertog. For å besvare dette kunne en ha nytte av en integrert person- og godstransportmodell, eller eventuelt en prosedyre for å kjøre de to modellsystemene i iterasjon med hverandre.

Enda større samordningsgevinster kan en muligens få ved å integrere kjøretøymodellene med reise- og godstransportetterspørselsmodellene. Særlig vil dette gjelde dersom en videreutvikler RTM og NTM6 med differensierte kostnadsfunksjoner for biler med ulike typer drivlinje, og også i bilholds- og førerkortmodellene (BHFK) innfører en segmentering av husholdene etter *hva slags* personbil(er) de disponerer. En slik samordning vil, dersom en skal tilstrebe konsistens på lavere nivå enn det nasjonale, forutsette at en etablerer en ettermodell til BIG som fordeler personbilene på fylker, kommuner, delområder eller grunnkretser.

Et annet eksempel på mulige synergigevinster på tvers av modellene oppstår hvis en skal beregne priselastisitetene for drivstoff. Prisene og avgiftene på drivstoff påvirker omfanget av vegtrafikk og utslipp på minst tre måter: (i) direkte via bruken av de bilene vi allerede

har, (ii) indirekte via sammensetningen av nybilkjøpet og bilparken og (iii) indirekte via samlet bilhold.

Den kortsiktige virkningen (i) kan beregnes ved hjelp av RTM og NTM6. Virkning (ii) kan beregnes på kort sikt vha. bilkjøpsmodulen i BIG og på lang sikt ved å framskrive bilbestanden under ulike alternativ mht. nybilsalgets sammensetning. For å fange opp virkning (iii) må en utvikle en relasjon eller modell som bestemmer husholdenes samlede billetter-spørsel.

Av særlig betydning her er den såkalte ‘rebound’-effekten. Når kjøretøyene blir mer energi-effektive, eller driftskostnaden per kilometer av andre grunner går ned, vil forbrukerne normalt tilpasse seg slik at omfanget av bilreiser øker. En får ikke full klimaeffekt av at bensin- og dieselbilene blir mer drivstoffgjerrige; en viss del av forbedringen ‘spises opp’ gjennom økt trafikk. Det vil være verdifullt om modellapparatet ble satt i stand til å beregne *hele* rebound-effekten, ikke bare delene (i) og (ii).

Forenkling og operasjonalisering

Det tar forholdsvis lang tid og krever betydelig spesialkompetanse å kjøre RTM-, NTM6-, NGM- eller BIG-modellen. Nytten av å forbedre transportsystemet eller det rullende materiellet henger sammen med trafikantenes valg av kjøretøy, reisehyppighet, reisemål, reisemiddel og reiserute. Erfaringen viser at brukbare resultater krever detaljerte nettverksmodeller basert på et omfattende datagrunnlag om både veg-, bane-, fly- og skipsrutenettet og om dagens reise- og godstransportmønstre, som løpende må oppdateres. Det betyr at det i konkrete anvendelser tar tid å spesifisere input og kjøre modellene, og at det kan være tungvint å teste ut mange forskjellige alternativer.

For analyser av klimatiltak er den romlige fordeling av utslippene uten betydning. Modellen må dekke hele landet, men trafikdens fordeling på nettverket er ikke viktig for å evaluere klimakonsekvensene. Om man kan ta ut rutevalgsdelen av modellene, kan det gi operasjonelle fordeler på flere måter. Etterspørselseffekter kan, på det overordnede nivå som trengs for klimaanalyser, uttrykkes gjennom de elastisitetene som kan utledes fra RTM og NTM6. Direkte- og krysspriselastisiteter mellom transportformene og tilsvarende elastisiteter for reisetid, inntekt og andre faktorer kan beregnes på aggregert nasjonalt nivå ved en rekke modellkjøringer hvor bare én variabel endres av gangen. Integrasjon med BIG kan gi langt større detaljeringsgrad og mulighet for å beregne de samlede effekter av tiltak som påvirker kjøretøyparkens sammensetning. I tillegg kan en integrere en modul for nyttekostnadsberegninger i et samlet *klimaanalyseverktøy*.

1 Innledning og bakgrunn

Teknisk beregningsutvalg for klima ble oppnevnt i juni 2018. Utvalget skal blant annet peke på områder der det vurderes å være særlig behov for kunnskapsutvikling innenfor virkemiddelanalyser, samt gi råd om forbedringer i metodene for virkemiddelanalyser på klimaområdet. Utvalget la frem sin første rapport i juni 2019.

For å bidra til kunnskapsgrunnlaget for utvalgets videre arbeid, ønsker utvalget en vurdering av hvordan transportvirksomhetenes transportmodeller kan brukes på klimaområdet. Utvalget ønsker å få en vurdering av alle relevante modeller (person og gods), for alle transportformer.

Samferdselsdepartementet (SD) har på denne bakgrunn satt ut et oppdrag med sikte på å vurdere hvor godt egnet transportmodellene er til å bidra til ulike typer virkemiddelanalyser på klimaområdet, samt i hvilken grad det er behov og potensial for forbedringer i modellene eller i datagrunnlaget. SD ønsker en beskrivelse av det eksisterende modellsystemet, en vurdering av hvor egnet modellsystemet er til å analysere klimaeffekter av ulike typer virkemidler, samt en vurdering av potensialet for videreutvikling av modellapparatet eller datagrunnlaget med tanke på å benytte det til virkemiddelanalyser på klimaområdet. Oppdraget er avrop 8 i rammeavtalen om klimatiltak mellom SD og Menon Economics, TØI og DNV GL.

Norske modeller som er relevante for virkemiddelanalyse og beregninger av klimagassutslipp og -kostnader, og som omtales inngående i denne utredningen, er følgende:

- RTM – regionale persontransportmodeller, én for hver av fem regioner, for reiser inntil 70 km én veg ('korte reiser')
- NTM6 – nasjonal persontransportmodell, for innenlandske reiser over 70 km én veg ('lange reiser')
- NGM – nasjonal godstransportmodell, for all godstransport mellom norske kommuner⁶ og mellom norske kommuner og utlandet
- GodsNytte – en Excel-basert ettermodell til NGM som brukes til å beregne den neddiskonterte samfunnsøkonomiske nytten og tilhørende kostnader av ulike tiltak
- Pingo – en regionalisert generell likevektsmodell som kan benyttes til framskrivninger av nasjonale vekstbaner for økonomisk vekst til bruk i NGM, og som grunnlag for beregning av utslipp i varestrømsanalyser
- BIG – TØIs bilgenerasjonsmodell, et regnearkssystem for strømmer og beholdninger av kjøretøy inndelt etter kjøretøyklasse, vekt, energiteknologi og alder, supplert med en logit-modell for kjøp av nye personbiler
- FRAM3 – Kystverkets beregningsmodell for samfunnsøkonomiske analyser av person- og godstransport, primært på sjøen

Foruten disse hovedmodellene finnes det et antall spesialiserte modellverktøy som omtales bare mer summarisk. Noen av disse brukes som før- eller ettermodeller til RTM, NTM6 eller NGM. Det dreier seg om følgende.

⁶ Hver av de seks største bykommunene er inndelt i 4 til 12 storbysoner.

- Trenklin – en modell for å beregne sentrale kost-nyttestørrelser som følge av endringer i togtilbudet. Trenklin er en elastisitetsmodell som benytter seg av en gitt (inkrementell) etterspørsel. Denne kan komme fra statistikk eller en transportmodell som f.eks. RTM. Modellen kan belyse utslippseffekter ved overgang mellom mer eller mindre utslippsintensive transportformer.
- SAGA er et nyttekostnadsverktøy for tiltak på jernbanen, primært av endring i transport fra en transportmodellene (RTM, NTM, NGM og Trenklin). SAGA er oversiktlig bygd opp og nivåinndelt, og dette gjør at oppdatering av verktøyet er enkelt, når det gjelder både enhetssatser og forutsetninger.
- EFFEKT benyttes til verdsetting av effekter av tiltak i vegsektoren, herunder endringer i klimagassutslipp, ulykker, drift og vedlikehold. Modellen gir detaljerte beregninger i forbindelse med bompengoordninger, der detaljeringsgraden er viktig, siden tiltakene som analyseres, ofte er avhengig av brukerfinansiering. EFFEKT beregner også svært detaljert drivstofforbruk og utslipp av klimagasser. En egen klimamodul beregner mengdegrunnlag og klimagassutslipp fra byggefasen på et relativt detaljert, men overordnet nivå.
- Sintefs farts- og energimodul beregner drivstofforbruk basert på forventet hastighet på et gitt vegsegment. Den kan brukes som ettermodell til RTM/NTM6.

I denne gjennomgangen vil vi først, i kapittel 2, ta for oss persontransportmodellene RTM og NTM6. Kapittel 3 er viet det nasjonale godsmodellsystemet. Kjøretøymodellen BIG behandles i kapittel 4 og Kystverkets modell FRAM3 i kapittel 5. I hvert av disse kapitlene vil vi beskrive modellapparatet, vurdere fordeler og svakheter og hvor egnet hver av modellene er til klimavirkemiddelanalyse, samt skissere hvordan modellene kan videreutvikles og forbedres. Kapittel 6 dreier seg om samordning og synergi mellom modellene og om analysebehov som går på tvers av de enkelte modellsystemene. I kapittel 7 tar vi opp spørsmålet om forenkling og operasjonalisering av modellene. I kapittel 8 identifiserer vi hvilke poster i statsbudsjettet som berører utslipp av klimagasser og hvilke modeller som er egnet til å analysere virkningene. Kapittel 9 er en kortfattet oppsummering av hvilke virkemidler som kan analyseres ved hjelp av de respektive modellene.

I sammenfatningen først i dokumentet er trådene fra alle modeller vevd sammen og stoffet organisert på tvers av de ulike modellene, i henhold til de tre hovedoverskriftene beskrivelse, vurdering og videreutvikling.

2 Persontransportmodellene RTM og NTM6

2.1 Historikk

Første versjon av persontransportmodellene ble utviklet i samarbeid mellom Transportøkonomisk institutt (TØI) og Hague Consulting Group (HCG) tidlig på 1990-tallet, under det såkalte 'klimaprojektet', der målet var bedre kunnskap om miljøavgifters virkning på samferdselen og dennes utslipp av klimagasser⁷.

Modellapparatet er siden blitt kraftig videreutviklet, utvidet og oppdatert⁸. Det brukes nå jevnlig som verktøy i arbeidet med nasjonal transportplan (NTP)⁹ og ved en rekke andre offentlige plan- og utredningsoppgaver, som f.eks. klimameldingen¹⁰ og 'Klimakur'-utredningene¹¹. RTM og NTM6 er transportvirksomhetenes eiendom, representert ved [NTP Transportanalyser](#), men er fritt tilgjengelig for enhver med kompetanse til å bruke dem.

De norske persontransportmodellene er vokst ut av en internasjonal tradisjon for disaggregert reiseetterspørselsanalyse ('travel demand analysis') som var i særlig rivende utvikling på 1970- og -80-tallet (mer om dette i avsnitt 2.10). Ekstra kraftige analyseverktøy har en etter hvert fått ved å kombinere reiseetterspørselsanalysene med operasjonsanalytiske metoder for simulering av trafikkstrømmer i nettverk¹². De norske persontransportmodellene er slike nettverksmodeller.

2.2 Soner, nettverk og reiseetterspørsel

De regionale nettverksmodellene RTM beregner, for seks ulike reisemål (arbeidsreiser, tjenestereiser, fritidsreiser, hente-/bringereiser, private ærend og arbeidsplassbaserte rundturer) befolkningsmedlemmenes valg av reisehyppighet, reisemål, reisemiddel og reiserute, på nokså detaljert geografisk nivå. RTM får fram reisestrømmene mellom ca. 13 500 ulike soner (grunnkretser). Til grunn for reiseatferden ligger et sett kvalitative valgbehandlingsmodeller (logit-modeller) basert på erfaringsdata (RVU – de landsomfattende reisevaneundersøkelsene) og en antakelse om nyttemaksimering (se avsnitt 2.10). Logit-modellene gir grunnlag for empirisk baserte, generaliserte reisekostnadsfunksjoner, hvori inngår reisetid, ventetid, drivstoff, bompenger, kollektivtakster, fergetakster, mv. De reisende antas å velge den reisemåten som gir lavest generalisert kostnad. Nyttefunksjonene i logit-modellen inneholder et stokastisk restledd, slik at ikke alle reisende vil velge samme reisemål, reisemiddel eller reiserute, selv om de uavhengige variablene skulle ha samme verdi over hele fjøla.

⁷ HCG & TØI (1991), Fridstrøm m.fl. (1991), Ramjerdi & Rand (1992), Fridstrøm & Rand (1993).

⁸ Grue m.fl. (1999), Hamre (2002), Hamre m.fl. (2001, 2002), Madslien m.fl. (2005), Rekdal (2006), Rekdal m.fl. (2013), Rekdal m.fl. (2018).

⁹ Meld. St. 33 (2016-2017).

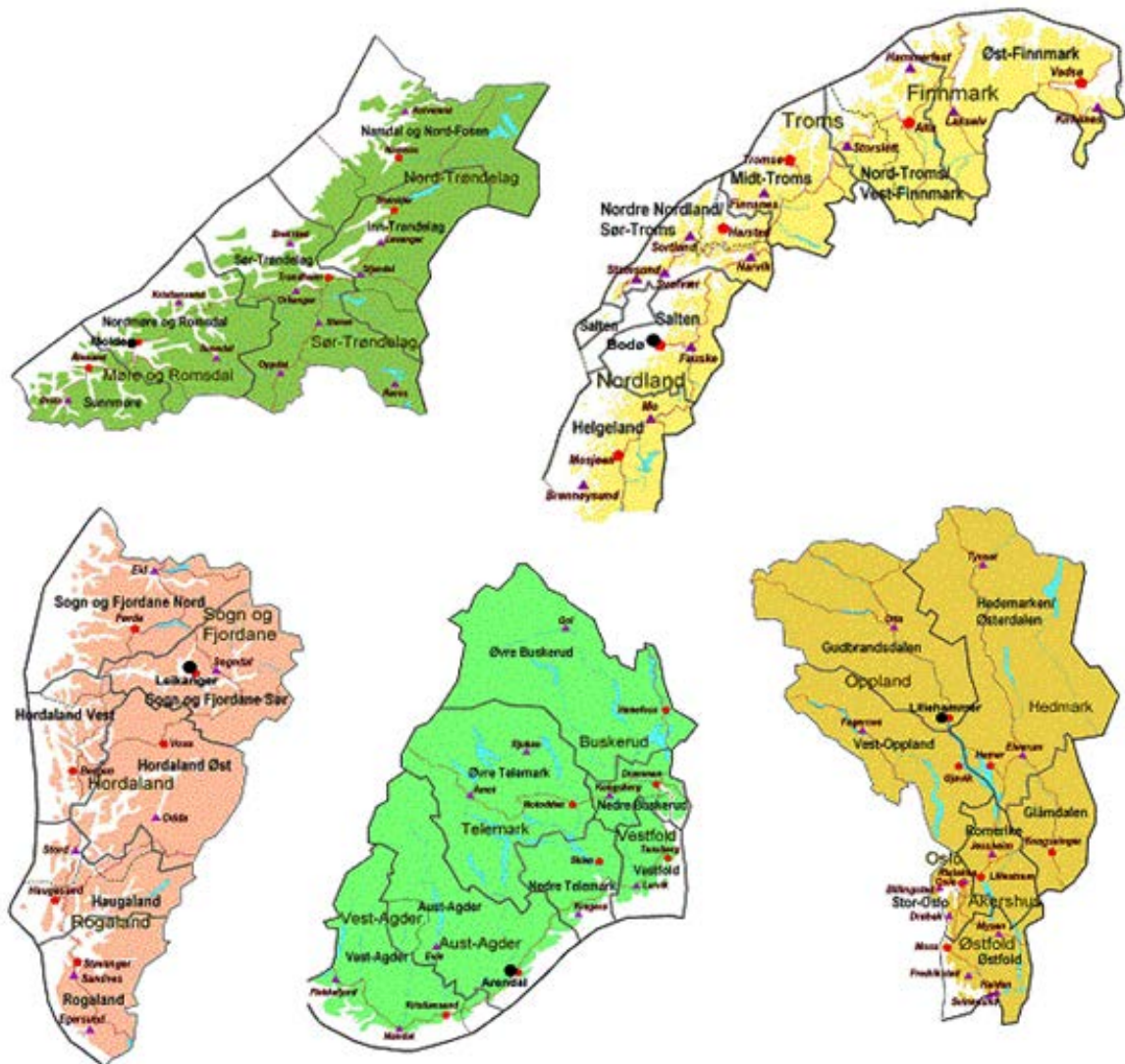
¹⁰ Meld. St. 21 (2011-12), Steinsland & Madslien (2007), Madslien m.fl. (2010, 2011).

¹¹ Klima- og forurensningsdirektoratet (2010), Miljødirektoratet (2020)

¹² Spiess & Florian (1989).

Til grunn for beregningen av generaliserte kostnader og reisestrømmer ligger et sett nøyaktig spesifiserte transportnettverk – veier, jernbaner og kollektivruter – bestående av noder (knutepunkt) og lenker. Reisene foregår innenfor disse nettverkene. Bilreiser, sykling og gange finner sted i vegnettet. På kollektivsiden fanger RTM opp buss-, tog-, t-bane-, bybane-, trikke- og båtruter – nærmere om dette i avsnitt 2.6.

Nettverksdataene spiller en avgjørende rolle, ikke bare fordi nettverkene er den ‘arenaen’ der reisene ‘legges ut’, men også fordi en, ved estimering av logit-modellene, trenger data ikke bare om den reisemåten som faktisk er valgt, men også om alle de reisemåtene som *ikke* ble valgt. Det er ved hjelp av informasjon om forskjellene mellom de aktuelle alternativene (‘valgmengden’, på engelsk ‘choice set’) en kan forklare reiseatferden og estimere nyttefunksjonene. Forut for estimeringen gjøres det derfor en avgjørende jobb der en, for hver enkelt reise i RVU-materialet, påkoder nettverksdata (reisetid, kontantutgift, avgangshyppighet, mv.) om alle aktuelle reisemåter fra reisens startpunkt, og dessuten danner turkjeder av enkeltreisene. Det er turkjeder som inngår i reisemiddelvalgmodellene, når disse estimeres.



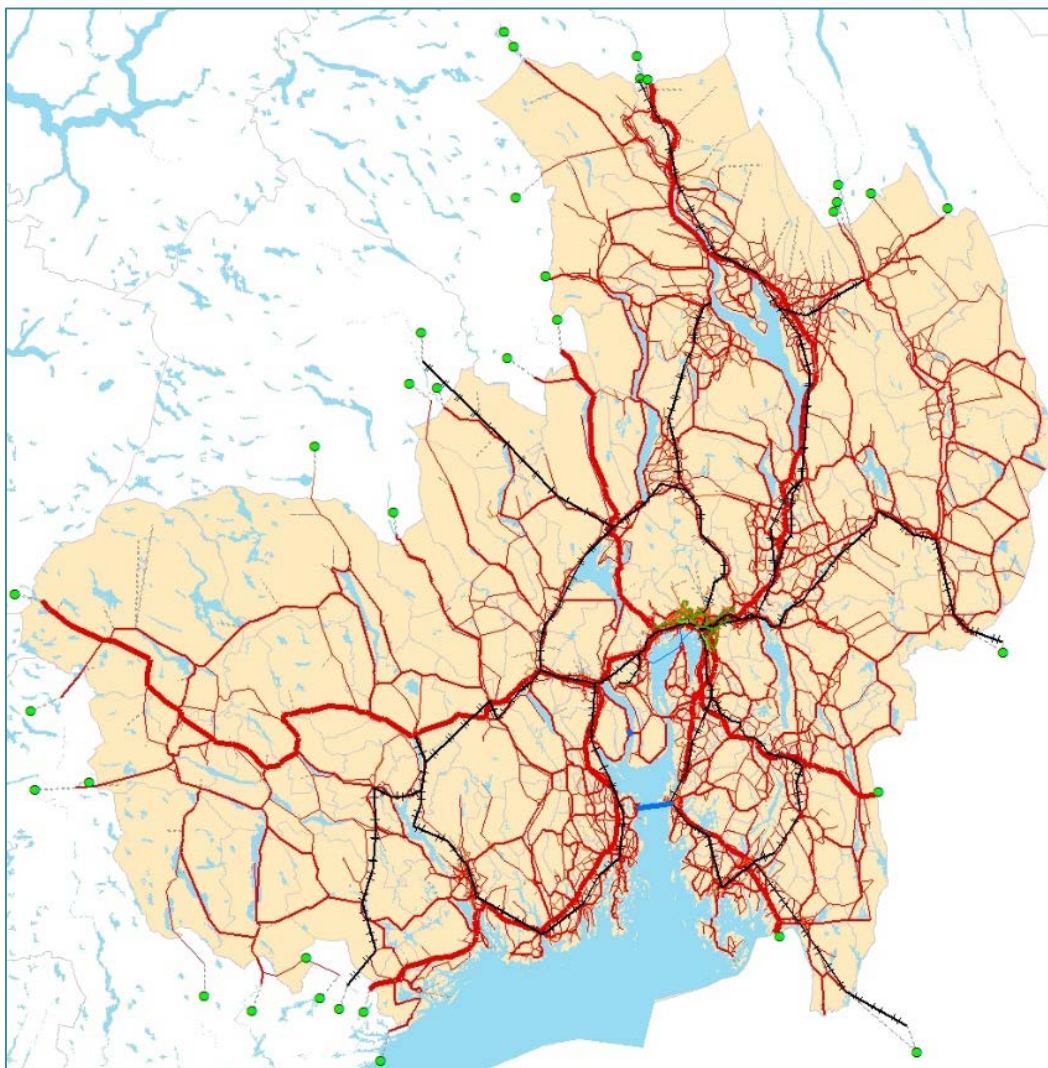
Figur 2.1: Regioninndelingen i RTM: midt, nord, vest, sør, øst. Kilde: Madslie m.fl. (2005).

2.3 Regioninndeling

Ved etableringen av persontransportmodellene for korte reiser ble det tatt utgangspunkt i Statens vegvesens regioninndeling. Bakgrunnen for dette var at modellene da kan knyttes til en administrativ enhet som kan forvalte modellene (stå for bruk og vedlikehold) etter at de er levert ferdig estimert, kalibrert og implementert fra NTP Transportanalyser.

Statens vegvesen var på denne tiden inndelt i fem regioner: Sør, Øst, Vest, Midt og Nord. Det er etablert én modell for hver av disse (Fig. 2.1).

Hver av modellene dekker reiser innen regionen, samt til og fra et randområde på ca. 10 mil. Ut fra transportmessige hensyn er imidlertid skillet mellom Region Sør og Region Øst lite hensiktsmessig, med stort omfang av transport mellom regionene (bl.a. over Liertoppen). For en del analyseformål har en derfor utarbeidet spesielle delområdemodeller (DOM), som går på tvers av regioninndelingen. Den såkalte DOM Intercity (Fig. 2.2) dekker f.eks. intercitytriangellet rundt Oslo og innbefatter fylkene Oslo, Akershus, Østfold, Vestfold og Telemark, samt de sørlige delene av Hedmark, Oppland og Buskerud (se f.eks. Steinsland 2014). Et annet eksempel er delområdemodellen for Buskerudbyen (Steinsland 2017).



Figur 2.2: Transportnettverkene i DOM Intercity. Rødt for veier, svart for jernbaner, blått for båtruter. Kilde: Steinsland (2014).

Grunnkretser er benyttet som geografisk enhet eller soneinndeling i modellene. I tillegg til grunnkretsene som er med i modellens hovedområde, kommer randsonene, som kan benyttes som destinasjon for turer gjennomført av bosatte i hovedområdet/regionen.

Per 2005 var soneantallet i hver modell som angitt i Tabell 2.1, eksklusive randområdene. Siden da har det vært gjort noen mindre justeringer.

Tabell 2.1: Antall fylker, kommuner og grunnkretser i regionene/ modellene per 2005. Kilde: Madslien m.fl. (2005).

Region	Antall fylker	Antall kommuner	Antall grunnkretser	Grunnkretser per fylke	Grunnkretser per kommune
Øst	5	89	4179	836	47
Sør	5	84	2672	534	32
Vest	3	86	2534	845	29
Midt	3	87	2075	692	24
Nord	3	89	1960	653	22
Totalt	19	435	13420	706	31

2.4 Modellkjøringer

En RTM-modellkjøring vil vanligvis starte med at man tar ut såkalte *LoS-matriser* (LoS = level-of-service) fra nettverksmodellene. Dette er matriser med informasjon om reisetider og kostnader mellom alle soner i modellområdet for hver enkelt reisemåte. Disse matrisene danner input til etterspørselsmodellene sammen med de øvrige data som inngår i en modellkjøring, dvs. demografiske *sonedata til generering og attrahering av turer* og ulike *segmenttabeller* fra RVU 2013-14, som gir gjennomsnittsverdier for befolkningssegmenter mht. variable det ikke finnes sonedata for. Sonedataene oppdateres jevnlig.

Selve etterspørselsmodellen starter med kjøring av *bilholds- og førerkortmodellene* (BHFK-modellene), som segmenterer de demografiske data (befolkning i grunnkretser fordelt etter alder, kjønn og husholdstype) etter bilhold og førerkortinnehav. I alt blir befolkningen i hver grunnkrets fordelt på 600 segmenter. Det er estimert separate BHFK-modeller for tre ulike husholdstyper, og befolkningen fordeles på fem segmenter etter biltilgang, avhengig av om personen selv har førerkort og av hvor mange biler det er i husholdet i forhold til antall førerkort. Modellene er kalibrert slik at generasjonseffekten i førerkortinnehavet ivaretas, med andre ord at ingen generasjon oppviser synkende førerkortinnehav før i forholdsvis høy alder. BHFK-modellene har vesentlig betydning for resultatene, da biltilgangen varierer mye mellom grunnkretsene, avhengig av befolkningstetthet, storbystatus, etc., og siden biltilgang er et avgjørende premiss for valget av reisemiddel og reisemål.

Det er estimert seks *modeller for simultane valg av reisemiddel og reisemål* (såkalte MD-modeller: 'Mode/Destination'), én for hver av reisehensiktene:

- tjenestereiser
- arbeidsreiser
- fritidsreiser
- hente- og bringereiser
- private ærend
- arbeidsplassbaserte rundturer

De fem første modellene er bosteds- og rundturbaserte, mens den siste modellen gjelder rundturer som foregår med utgangspunkt i arbeidsplassen. Alle modellene benytter segmenteringen fra bilholds- og førerkortmodellene direkte. MD-modellene er estimert ved hjelp av RVU-data om valg av reisemiddel og reisemål, og de fleste er *multinomiske logit-modeller*¹³. I modellen for *arbeidsreiser* ivaretas også valg mellom periodekort og enkeltbillett for kollektivtransport, og dette er formulert slik at informasjonen om periodekortinnhav kan benyttes direkte også i modellene for de øvrige reisehensiktene. For de korte reisene (inntil 70 km én veg) i RTM skilles det mellom fem reisemidler:

- bil som fører
- bil som passasjer
- kollektivtransport
- sykkel
- gange

Modellene for reisehyppighet (TG-modeller: TurGenerering) er logitmodeller estimert i kombinasjon med såkalte Hurdle-Poisson-modeller¹⁴.

Modellene beregner forventet antall besøk, fordelt på formål, som gjennomføres av 'gjennomsnittspersonen' i ulike segmenter. For hvert segment vil dette antallet multipliseres med antall personer i segmentet. Deretter benyttes en prosedyre som fordeler det beregnede antall besøk på rundturer fra eget hjem som har henholdsvis ett eller to besøk. Samtidig bestemmes også en fordeling når det gjelder rekkefølgen av besøk, hvis det er to besøk i rundturen. Avhengig av hva man velger ved en modellkjøring, kan også besøkene fordeles på perioder av døgnet. Disse trinn gjøres på en konsistent måte, slik at alle besøk blir gjennomført og alle rundturer ender hjemme. I turgenereringsmodellene inngår såkalte log-summer¹⁵ fra de fem MD-modellene som variable, hvilket innebærer at reisefrekvensene påvirkes av transporttilbudet og biltilgjengeligheten.

En oversikt over modellsystemet er gitt i Fig. 2.3.

Resultatet av en modellkjøring er turmatriser for rene tur/retur-reiser (formål x reisemåte, dvs. 30 i alt), samt utreiser, mellomliggende reiser og returer for reiser med flere enn én destinasjon. De siste beregnes og skrives ut bare for bilførerurer og kollektivturer og samlet for alle reiseformål. Disse matrisene leses inn i nettverksmodellen, aggregeres opp (f.eks. til en totalmatrise for bilførerurer) og fordeles der på veglenker og ulike kollektive transportmidler basert på bestemte algoritmer.

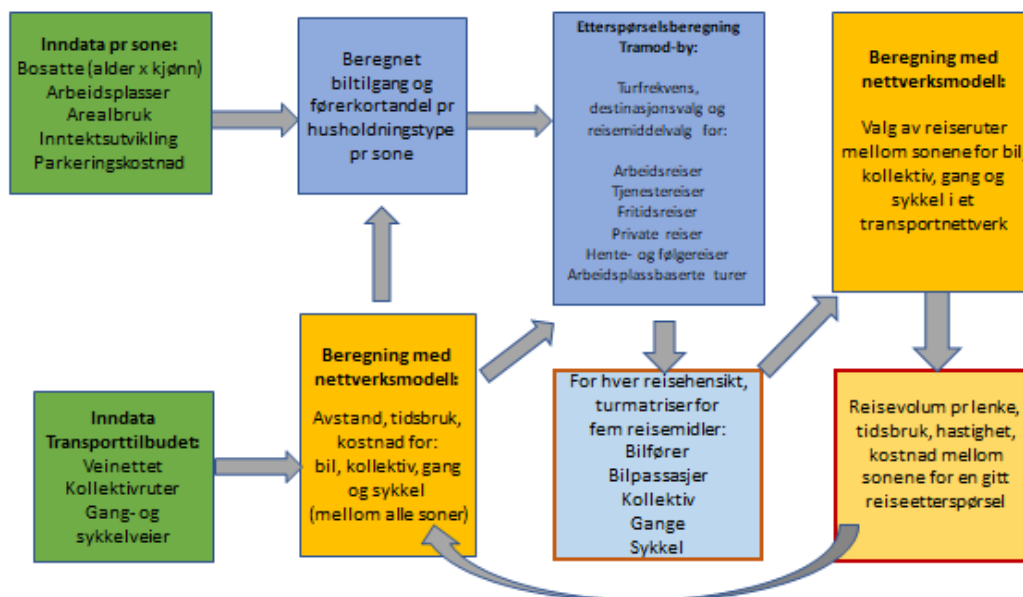
Når en framskriver reiseaktiviteten, legger en gjerne til grunn en befolkningsframskriving fra Statistisk sentralbyrå (SSB) og en utviklingsbane for privat konsum utarbeidet av Finansdepartementet. En gjør dessuten et sett prisforutsetninger, f.eks. at alle realpriser på transport holder seg uendret i hele framskrivingsperioden.

Beregningene gjøres for et basisår samt et utvalg framtidige år. Det legges inn forutsetninger om (endringer i) vegnettet (inklusive bompengebelastning) og kollektivrutene i hvert framskrivingsår.

¹³ McFadden (1974, 1981, 2000).

¹⁴ Utfallene i en Poisson-modell er ikke-negative heltall. Modellen egner seg derfor til å predikere antall reiser. Hurdle-Poisson-modellene er en variant som tillater avvik fra Poisson-fordelingen i form av økt sannsynlighet for utfallet null, altså ingen reiser.

¹⁵ Log-summene oppsummerer (i dette tilfellet) informasjon om hvor attraktive de ulike kombinasjonene av reisemål og reisemiddel er. For en person med mange attraktive reisemål og reisemidler vil modellen predikere høy reisehyppighet.



Figur 2.3: Beregningsgangen i RTM. Kilde: Knapskog m.fl. (2018), med oppdateringer.

Det krever betydelig spesialkompetanse å kjøre modellene, og det tar tid – både maskintid og persontid. Særlig lang tid går med dersom en skal få fram og ta hensyn til rushtidsvariasjoner i reisetiden. 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 da planlegges godt.

2.5 Forutsetninger om bilreiser

Den generaliserte reisekostnaden for bilistene består i modellene av reisetid, kilometeravhengige kostnader inkludert drivstofforbruk og en andel av forsikring og slitasje, samt direkte utlegg til bompenger og fergebilletter. Reisetiden omregnes til en kostnad ved å benytte ulike enhetsverdier for reisetiden avhengig av formålet med reisen.

RTMs reiseetterspørselsmodul *TraMod_By* er tilrettelagt for å studere køer i byer ved at reisetiden varierer med antall biler på vegene. Vegvalgene til bilistene påvirkes da av framkommeligheten på den enkelte veg. 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 store modeller med mange soner, og er hovedårsaken til at det er etablert egne bymodeller med utgangspunkt i de større regionale modellene (som dekker tre eller flere fylker). Bymodellene/delområdemodellene krever vanligvis betydelig kortere maskintid enn regionmodellene de har sitt utspring fra, og kan dermed kjøres for flere tidsperioder og med flere iterasjoner, slik at man i større grad kan få beregnet hvordan endringer i framkommeligheten i vegnettet påvirker etterspørselen etter bilreiser.

2.6 Forutsetninger om kollektivtransport

All kollektivtransport er i modellen kodet som konkrete kollektivruter med frekvens, hvilke holdeplasser som betjenes og et fast antall minutter det tar mellom hver holdeplass. Det er imidlertid også mulig å la bussene få de samme kørelaterte forsinkelser som bilene på hver enkelt veglenke, med unntak av der det er kollektivfelt. Dette innebærer at bussene kan bruke lengre tid enn oppgitt på ruten, dersom det er forsinkelser på de veglenkene som bussen benytter. Ved økende kø i vegnettet vil da også bussene gradvis bruke lengre tid. I praksis kan en f.eks. tenke seg at det i perioden fram til 2030 eller 2050 bygges nye kollektivfelt der man ser store forsinkelser, eller at det innføres ulike former for signalprioritering eller andre tiltak som favoriserer kollektivtrafikken der det er køproblemer. Det er mulig å legge slike tiltak inn i nettverkskodingen – nærmere om dette i avsnitt 2.17.11.

2.7 Forutsetninger om gående og syklende

Gående og syklende kan ofte i praksis bruke et annet nettverk enn det som er tillatt for biltrafikk, f.eks. snarveger gjennom parker o.l., gjerne med en kortere distanse. Dette er ikke fullt ut kodet i dagens modell, men er noe Statens vegvesen arbeider med å få bedre på plass. På veglenkene ligger det inne informasjon som indikerer hvor godt vegen egner seg for gående og syklende, f.eks. om det er atskilt sykkelveg, sykkelfelt i vegbanen eller ingen tilrettelegging.

2.8 De lange reisene

NTM6 (nasjonal transportmodell, se Rekdal m.fl. 2018) dekker alle 'lange' reiser innenlands (over 70 km én veg). Modellen har en grovere geografisk inndeling enn RTM, med drøyt 1500 ulike 'delområdesoner', dvs. aggregat av grunnkretser (Fig. 2.4).

Den nasjonale persontransportmodellen dekker reiser mellom soner i Norge. For enkelte sonerelasjoner kan veger i Sverige være en del av foretrukket rutevalg. Derfor er deler av det svenske vegnettet med i modellen.

Reisene grupperes i de fem reisemålene tjenestereiser, arbeidsreiser, ferie- og fritidsreiser, besøksreiser og andre private reiser. Modellen beregner lange reiser fordelt på de fire reisemidlene bilfører, bilpassasjer, fly og BBT (= buss/båt/tog). BBT-reisene fordeles på buss, båt og tog i forbindelse med nettutleggingen.

Vegnettet er hentet fra Nasjonal vegdatabank og består av alle europaveger, riksveger og fylkesveger, samt relevante kommunale veger. For hver veglenke har en informasjon om bl.a. distanse, skiltet hastighet, antall felt, horisontal og vertikal kurvatur etc. Denne informasjonen benyttes bl.a. til å beregne distanse og kjøretid langs ulike potensielle vegvalg. Kjøretid bestemmes ved bruk av hastighetsfunksjoner hvor både skiltet hastighet, kurvatur og trafikk i vegnettet har betydning. Vegnettet er det samme i NTM6 som i RTM, med en viss forenkling, fordi man med grovere soneinndeling ikke har behov for like detaljert lokalt vegnett.

Kollektivrutene i modellene er hentet fra ENTUR, som er en landsomfattende database med all informasjon om kollektivtilbudet i Norge.



Figur 2.4: Transportnettverket i NTM6. Rødt for veier, svart for jernbaner, blått for båtruter, grått for flyruter.
Kilde: Steinsland (2014).

2.9 Aktører

RTM og NTM6 er disaggregerte etterspørselsmodeller basert på individ- og husholdsdata om bilhold, førerkortinnehav og reiseatferd, samt et vidt spekter av bakgrunnsdata (kjønn, alder, husholdsstørrelse og -type, utdanning, sysselsetting, m.fl.). De sentrale aktørene i modellene er således enkeltindivider og -hushold. Aktørene er heterogene både i kraft av sine individuelle egenskaper og fordi de opptrer i ulike sosiogeografiske kontekster, jf. de 600 segmentene nevnt i avsnitt 2.4. Via opplysninger om bosted og aktuelle reisemål inneholder modellene også data om hvilke kollektivtilbud innbyggerne i de ulike soner står overfor, samt om bompengerordninger og fergetakster i og rundt de enkelte soner.

Modellene predikerer i prinsippet enkeltindividers atferdsvalg. Den enkeltes individuelle reise er riktignok uten særlig interesse. Men ved å aggregere sammen alle reiser av en bestemt kategori, under ulike faktiske eller kontrafaktiske forutsetninger, kan en få fram anslag over markedsresponsen på gitte utviklingstrekk eller tiltak.

Private foretak og offentlige etater påvirker 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.

2.10 Atferdsforutsetninger og variable

Til grunn for atferdsrelasjonene i RTM og NTM6 ligger en allmenn forutsetning om nyttemaksimering i samsvar med nyklassisk mikroøkonomisk teori og teorien om kvalitativ valgbehandling ('discrete choice theory').

Et særlig viktig atferdsteorisk grunnlag er paradigmat om *stokastisk nyttemaksimering* ('random utility maximization' – RUM) som ble utviklet på 1970-tallet av Daniel McFadden (1974), Huw Williams (1977) og andre. En god historikk er å finne i [McFaddens nobelprisforedrag](#). Det kan vises at dersom restleddet i nyttefunksjonen følger [Gumbel-fordelingen](#) (også kalt den generaliserte ekstremverdifordelingen), så vil valgsannsynlighetene ha form av multinomiske logit-funksjoner.

Moshe Ben-Akiva (1973) videreutviklet den multinomiske logit-modellen til en mer generell teori for hierarkiske valg ('nested logit'), der valget på et lavere nivå er betinget av valget på et høyere nivå, samtidig som valgmulighetene på lavere nivå virker tilbake på valgene lenger opp i hierarkiet, slik at valgene på alle nivå bestemmes simultant. Eksempelvis kan valget (på øvre nivå) mellom bil og kollektivtransport til et bestemt reisemål være påvirket av hvor mange og hvor raske kjøreruter som finnes for bilisten (på nedre nivå) og av hvor mange og hvor gode alternativ (buss, t-bane, trikk, tog, etc.) som finnes (på nedre nivå) for kollektivtrafikanten. Attraktiviteten av henholdsvis bil og kollektivtransport fanges opp gjennom de såkalte log-summene, som er bestemt av egenskapene ved de ulike underalternativene, i dette tilfellet de enkelte kjøreruter og kollektivtransportruter.

Teorien om stokastisk nytte er ikke å forstå dithen at den enkelte person selv er usikker på hvor stor behovstilfredsstillelse eller nytte hun får av et bestemt atferdsvalg eller produkt. Det er *analytikeren* som verken har eller kan få kunnskap om dette. Sett innenfra kan preferansene og produkttegenskapene være klare som dagen. Men sett utenfra er individets nytte omgitt av hvit støy. Forskeren erkjenner at hun besitter kun ufullstendig informasjon om hva som rører seg i det handlende subjektets hjerte og hjerne. Det er slik vi skal forstå begrepet stokastisk nytte (se Ben-Akiva & Lerman 1985: 55).

Det finnes ingen empirisk begrunnelse bak påstanden om at nyttefunksjonene har Gumbel-fordelte restledd. Disse restleddene er jo per definisjon uobserverbare. Poenget med denne teoribygningen er *konsistens* – at det går en sammenhengende logisk-matematisk linje fra dype atferdsteoriske aksiomer til empirisk observerbare konsumvalg i markedet. Faktisk har økonomenes stokastiske nytteteori rot i en enda dypere og atskillig eldre matematisk-psykologisk tradisjon representert ved Thurstone (1927) og Luce (1959) (se McFadden 1981, Dagsvik 1983).

I de fleste makroøkonomiske modeller utgjør priselastisitetene i de ulike markedene et sett nøkkelparametre, som i stor grad må fastsettes av modellutvikleren eller -brukeren. Finansdepartementets modeller baserer seg f.eks. på internasjonale metaanalyser¹⁶, som antyder kortsiktige priselastisiteter på $-0,35$ for bensin og $-0,20$ for autodiesel.

I disaggregerte nettverksmodeller som RTM og NTM6 er dette helt annerledes. *Priselastisitetene følger av relasjonene i modellen*, spesielt de generaliserte kostnadsfunksjonene, og kan beregnes ved hjelp av modellkjøringer, der en simulerer en f.eks. 10 prosents prisøkning for alle varer eller tjenester av en bestemt kategori. Slik kan en blant annet beregne prisfølsomheten for drivstoff. Ved å simulere endring i reisetidene kan en på samme måte estimere tidselastisiteten.

Pris- og tidselastisitetene for ulike geografiske områder eller befolkningssegment vil variere med de lokale forhold. Bilreiseetterspørselens prisfølsomhet er f.eks. avhengig av om det finnes gode, alternative reisemidler eller reisemål. Dersom kollektivtilbudet er godt, skal det mindre til for at bilistene går over til buss eller bane. Prisfølsomheten for drivstoff vil derfor være større i tettbygde strøk enn i grisorgrindte – i virkeligheten så vel som i modellen.

Mer generelt vil etterspørselen etter bilreiser, dvs. hvor langt hver av oss kjører per dag eller per år med de personbilene vi disponerer, i virkeligheten avhenge av en rekke forhold knyttet til den enkelte familie/husholdning (listen er ikke uttømmende):

- Førerkortinnehav
- Drivstoffprisen – nivå, størrelse og retning på endring
- Bilens drivstofforbruk per km
- Bompenger
- Fergetakster
- Andre distanseavhengige kontantkostnader: dekk, oljeskift og vask, vedlikehold og avskrivning, forsikring, etc.
- Tidskostnader, dvs. hvor raskt vi kommer til reisemålet med bil
- Parkeringstilgang på jobb/skole og hjemme
- Reisens formål
- Størrelsen på reisefølget
- Omfanget av bagasje
- Opplevd komfort ved bruk av egen bil
- Opplevd komfort og andre kjennetegn ved alternative reisemidler (gangtid, ventetid, reisetid, sitteplass, punktlighet, billettpris, værforhold, etc.)
- Nærheten til aktuelle reisemål, bl.a. avstand mellom bolig og arbeidssted/utdanningssted/barnehage/dagligvarehandel/fritidsaktiviteter/hytte
- Husholdsstruktur, bl.a. om det er barn i husholdet
- Husholdsinntekt

De generaliserte kostnadsfunksjonene som inngår i de disaggregerte nettverksmodellene fanger opp en god del av disse ulikhetene i sosioøkonomiske kjennetegn og geografisk kontekst. I makro, dvs. i sum for alle hushold i en bestemt region, vil virkningen av høyere drivstoffpris eller billigere kollektivtransport være bestemt av hvordan husholdene og reisene fordeler seg mht. disse variablene.

Madslie & Kwong (2015) anslo drivstoffpriselastisiteten basert på kjøring av den nasjonale persontransportmodellen for lange reiser (NTM6) og de regionale modellene for korte

¹⁶ Brons m.fl. (2006), Labandeira m.fl. (2016).

reiser (RTM). De fant, ved å la drivstoffprisen øke med 50 prosent, en kortsiktig elastisitet for utkjørte personbilkilometer på lange avstander (>70 km én veg) på ca. $-0,082$ per 2014. På korte reiser i Bergens-området beregnes elastisiteten til $-0,174$.

De hittil mest oppdaterte norske studiene av drivstoffprisfølsomhet er gjort av Hulleberg & Ukkonen (2020). De gjorde beregninger per biltype, for et par av regionene, og i tillegg en beregning hvor alle biler får samme drivstoffprisøkning. De gjorde dessuten beregninger for alle regioner og lange reiser per 2030, med forventet elbilandel pr region, og kom derved til lavere bilreiseetterspørselastisiteter enn om en ser kun på biler med forbrenningsmotor, som hos Madslien & Kwong (2015).

Oppsummert ligger den allmenne kortsiktige drivstoffpriselasititeten i Norge etter alt å dømme i området mellom $-0,08$ og $-0,15$. Siden bilparken på kort sikt er gitt, blir det prosentvise utslaget av økt drivstoffpris det samme enten vi ser på trafikkmengden (utkjørte bilkilometer), drivstofforbruket eller CO_2 -utslippet. På lang sikt forholder det seg litt annerledes, jf. kapittel 6.

2.11 Eksogene og endogene variable

Reiseetterspørselsmodellene RTM og NTM6 borer atskillig dypere enn vi er vant til fra makroøkonomiske modeller. Individenes atferdsvalg er som hovedregel endogent bestemt i RTM og NTM6. Det gjelder i første rekke valget av reiseatferd, dvs. reisehyppighet, reisemål, reisemiddel og reiserute. 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 endogent bestemt, men i makro er tallet på arbeidsplasser i de enkelte grunnkretser eksogent gitt. *Pris- og tidselastisitetene i RTM og NTM6 er dermed også endogent bestemt.* Det er ingen overdrivelse å si at pris- og tidselastisitetene *forklares av modellene*.

Lokalisering og arealbruk er eksogene størrelser, som i prinsippet kan endres gjennom manuelle justeringer av inndata til modellen.

Valget av reisemiddel 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 nye veger, kollektivruter og flyruter eller av endrede ferge-, bompenger og kollektivtakster. Ved å gjøre endringer i de generaliserte kostnadsfunksjonene kan en simulere effektene av dyrere eller billigere drivstoff, distanseavhengig vedlikehold eller andre utgiftselementer ved bilkjøring.

Førerkortinnehav og bilhold på sonenivå blir bestemt i bilholds- og førerkortmodellene (BHFK, se avsnitt 2.4) og vil variere ut fra demografi, geografi mv. Befolkningssammensetning og privat konsum angis eksogent, på basis av framskrivninger fra SSB og Finansdepartementet.

2.12 Handlingsalternativer

RTM og NTM6 er sektormodeller (partielle modeller). De beskriver bare en begrenset del av subjektens handlingsvalg og konsumvalg – den delen som vedrører reisevirksomhet. I noen tilfeller vil valgene på reiseområdet ha ringvirkninger utover transportsektoren, om

ikke annet så på grunn av budsjettrestriksjonen, eller f.eks. fordi husholdenes valg av kjøretøy får virkning i energimarkedene. Dersom ringvirkningene er store, kan det tenkes at disse i sin tur gir merkbar tilbakevirkning i transportsektoren. Denne type virkninger er ikke innbakt i reiseetterspørselsmodellene.

For individene og husholdene er handlingsalternativene, slik de er spesifisert i modellene, 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. På kort sikt vil likevel førerkortinnehav og bilhold ofte være å anse som gitt.

For myndighetene er de aktuelle handlingsalternativene primært knyttet til endringer i transportnettverkene. Det kan dreie seg om nye eller raskere vegforbindelser, endringer i skiltet hastighet eller gjennomsnittsfart på de enkelte veglenkene, endringer i avgangshypighetene og reisetidene for buss, bane, båter og fly, eller endringer i bompengetakstene og i avgiftene og prisene på ferger, kollektivreiser og flyreiser. Ved å regulere arealbruken kan myndighetene på nasjonalt eller lokalt nivå påvirke lokaliseringen av boliger og virksomheter og slik også endre reisestrømmene. I tillegg kan myndighetene påvirke reiseetterspørselen gjennom budsjettvedtak som endrer prisene på kjøretøy og drivstoff, eller ved å endre regelverket for inntektsskatt. Steinsland m.fl. (2016, 2018) viser f.eks., ved hjelp av RTM og NTM6, hvordan endringer i reisefradraget ved skattelikningen slår ut i reiseetterspørselen og i inntektsfordelingen mellom by og land. Reglene for fordelsbeskatning av firmabiler er et annet punkt der inntektsbeskatningen slår inn i transportmarkedet¹⁷. Mer generelt er selvsagt utviklingen i husholdenes disponible inntekt av stor betydning for kjøretøy- og reiseetterspørselen.

2.13 Teknologi

Reiseetterspørselsmodellene legger, kort fortalt, dagens og til en viss grad gårsdagens teknologi til grunn. Alle motorkjøretøy antas å ha en fører. Bruk av kjøretøyet antas å medføre en gjennomsnittlig drivstoffutgift per kilometer. Det vil si at modellene ikke har egne kostnadsfunksjoner eller handlingsalternativ for autonome kjøretøy eller kjøretøy med elektromotor. De generaliserte kostnadsfunksjonene for bilreiser opererer med bare én sorts bil med én kilometerkostnad. Når innslaget er av elbiler øker, må en i modellene ta hensyn til dette gjennom en lavere generell energikostnad for alle personbiler. Ved TØI er en, i samarbeid med Numerika og Møreforskning Molde, i ferd med å videreutvikle bilholdsmodellen for å møte dette problemet.

Persontransportmodellene er RP-modeller (RP = 'revealed preference'), dvs. at forbrukernes og foretakenes avveininger og verdsettinger utledes av den markedsatferd man kan observere. Det ligger i sakens natur at en da ikke får vite særlig mye om hvordan radikale nyvinninger vil bli mottatt. Det vil ta tid før helt nye former for transport kan implementeres i modellene: 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. Det er liten grunn til optimisme på dette punkt.

¹⁷ Vi bruker, litt upresist, ordet 'transportmarkedet' om hele transportsektoren, selv om mesteparten av reisene ikke omsettes i noe marked, men har form av egenproduksjon (selvberging). Bilister, (motor)syklist og fotgjengere produserer sine egne transporttjenester og konsumerer dem i samme øyeblikk. Rundt 80 prosent av personkilometerne innenlands i Norge består av slik egenproduksjon (Fridstrøm 2018).

Innovasjon som innebærer mer marginale forbedringer i kjente transportmidler, kan være noe lettere å innpasse. Men heller ikke dette er trivielt. Med den differensiering av bilholdet som planlegges implementert i RTM/NTM6, vil en kunne fange opp at nye energiteknologier innebærer lavere kilometerkostnader og utslipp. Om reisetiden eller billettprisen med et bestemt framkomstmiddel går ned, kan dette enkelt legges inn i nettverksmodellen. Autonome biler innebærer muligens at verdien av reisetid i bil (dvs. den subjektivt opplevde ulempe ved å sitte en time i bil) går ned. Man kan gjøre noe annet mens man reiser, slik at tiden ikke er like 'bortkastet'. Dette kan ha vidtrekkende implikasjoner, herunder at nytten av raskere veger 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 om hvordan personene ter seg i møte med den nye teknologien.

2.14 Dynamikk

Slik reiseetterspørselsmodellene er satt opp, er den reiseatferden som framkommer i det enkelte scenario, å tolke som en form for partiell langsiktig likevektsløsning under de gjeldende forutsetninger. I den grad løsningen skiller seg fra dagens situasjon, eller fra et tenkt framtidig basisscenario, må en se for seg at overgangen til en ny tilstand har tatt så lang tid at alle ønskede tilpasninger har kunnet skje. Sammenlikningen mellom ulike scenarioer følger med andre ord logikken i såkalt *komparativ statikk*¹⁸: En ser for seg ulike mulige, nåtidige eller framtidige tilstander, og studerer forskjellene mellom dem, uten å ta stilling til hvilke prosesser som har frambrakt de ulike tilstandene, eller hvor lang tid det har tatt å nå dit.

Dette gjelder i prinsippet. I praksis er tolkningen litt mindre klar. En rekke av de mekanismer som vil utspille seg i virkeligheten, som resultat av endringer i transportsystemet, er nemlig ikke fanget opp i modellen. Store endringer i transportsystemet vil kunne få endringer i en rekke andre markeder og slik påvirke den økonomiske veksten. Arealbruken kan endre seg betydelig, og med den lokaliseringen av boliger og arbeidsplasser. For å fange opp dette, måtte en enten (i) eksogent endre forutsetningene om lokalisering av boliger og arbeidsplasser eller (ii) integrere RTM og NTM6 med en generell, romlig likevektmodell for norsk økonomi.

Det er grunn til å tro at enkeltstående endringer i transportsystemet i seg selv bare vil ha beskjedne innvirkning på den allmenne økonomiske veksten. I noen tilfeller kan det oppstå såkalt mernytte ('wider economic benefits'), f.eks. ved at arbeidsmarkedsregionen utvides og produktiviteten stiger. Det finnes metoder for å kalkulere dette, men foreløpig ingen rutine for å mate slike endringer tilbake inn i RTM og NTM6.

I andre tilfeller kan de hendelsene som ligger bak endringene i transportsystemet, ha større utslag. For eksempel vil dette gjelde ved en dramatisk økning i oljeprisen. Selv om den umiddelbare effekten på lønnsomheten i norsk økonomi kan være positiv, vil den langsiktige globale effekten kunne være økonomisk nedgang og tilbakegang i verdenshandelen, som delvis kan motvirke den positive inntektseffekten. Høy oljepris vil dessuten ha betydning for drivstoffkostnadene og for takten i utviklingen av energibesparende teknologi. Dette vil i sin tur påvirke reisekostnadene, slik de blir spesifisert i RTM og NTM6.

¹⁸ Hicks (1939), Samuelson (1947).

2.15 Klimavirkninger

Det er lang tradisjon for bruk av reiseetterspørselsmodellene til analyse av klimapolitikken. Faktisk var dette hovedbegrunnelsen for oppbygging av første generasjons reiseetterspørselsmodell for Norge, som på det tidspunkt ble kalt 'klimamodellen' (jf. avsnitt 2.1).

Klimagassutslippene fra persontransport følger i RTM og NTM6 av drivstofforbruket, som i sin tur har sammenheng med reiseomfanget, reisemiddelfordelingen, energieffektiviteten og karbonintensiteten. I de fleste anvendelser har en brukt eksogent fastsatte utslippsrater per personkilometer eller kjøretøykilometer. Utslippet per personkilometer er gitt ved drivstofforbruket per kjøretøykilometer dividert med reisemidlets gjennomsnittlige belegg.

Det har vært vanlig å sette CO₂-utslippet fra elektrisk drevne transportmidler til null, med bakgrunn dels i at norsk strømforsyning er nesten 100 prosent vannkraftbasert, dels i at alle kraftverk av noen størrelse (>20 MW) i EØS-området er kvoteregulert. Innføringen av en markedsstabilitetsreserve i EUs kvotesystem innebærer imidlertid, med de regelendringer som gjelder fra 2018, at forutsetningen om nullutslipp fra elbiler ikke lenger gjelder uten forbehold på EØS-nivå (Fridstrøm 2020). Det samme gjelder elektrisk drevne skinne- gående transportmidler og ferger.

Utslippsratene for de ulike reisemidler er altså i liten grad endogenisert. Endringer i klimagassutslippene fra persontransport framkommer i første rekke som funksjon av endringer i reisemiddelfordelingen og i den samlede reiseetterspørselen. Utslippene fra personbiler er i utgangspunktet bestemt av hvilke eksogene utslippsrater som legges inn i RTM og NTM6.

Sintefs farts- og energimodul, som beregner drivstofforbruk basert på forventet hastighet på et gitt vegsegment, kan imidlertid brukes som ettermodell til RTM/NTM6. Farts- og energimodulen beregner energiforbruk og utslipp som funksjon av vegens fartsgrense og geometri (bredde, horisontal og vertikal kurvatur), kjøretøyets vekt, rullemotstand, motoreffekt, bremseeffekt og energieffektivitet, samt bilførerens kjørestil. Det arbeides med å gjøre modulen til en integrert del av modellsystemet, tilgjengelig for alle brukere.

2.16 Virkemiddelanalyse

Virkingen av *infrastrukturinvesteringer* kan belyses i RTM og NTM6 ved at en gjør endringer i vegnettet, jernbanenettet, havner og farleder eller lufthavner. En må gjøre forutsetninger om hvordan de påtenkte infrastrukturiltakene 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 – med ett forbehold¹⁹ – 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-ruter²⁰, som betjenes med

¹⁹ Forbeholdet gjelder reisemål i ca. 70 km avstand. Se avsnitt 2.17.4.

²⁰ FOT = forpliktelse til offentlig tjenesteyting, eksempelvis Widerøes kortbaneruter eller Go-Aheads kontrakt på Sørlandsbanen.

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 veglenker. Åpning av en ny, bompengebelagt veglenke 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 byregionen, der en skiller mellom trafikkstrømmene i og utenfor rushtid. Et mer generelt system for *allmenn vegprising* kan studeres ved at en for hver veglenke fastsetter en kilometeravgift, som kan variere med tid på døgnet, vegens beskaffenhet, bilens egenskaper og folketettheten langs vegen. Full beredskap for slik analyse vil en først få når RTM og NTM6 er utvidet med flere typer drivlinje i personbiler. Når denne modellforbedringen er på plass, vil modellene også kunne kaste lys over andre typer tiltak rettet mot mindre klimavennlige kjøretøy, så som *lavutslippssoner*, *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. *reisefra-draget* ved skattelikningen, som har betydning for personer med lang reiseveg til jobb.

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

Politiske mål av typen ‘nullvekst i biltrafikken i byene’, ‘halvering av klimagassutslippene’ eller liknende kan ikke simuleres direkte i modellene, da disse målene innebærer krav til modellens 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 foreløpig nokså svakt dekket i RTM og NTM6, all den stund det opereres med bare én type personbil og en ensartet kilometerkostnad. Kreativ bruk av modellsystemet kan likevel gjøre det mulig å studere klimautslippsfølgene av økt elbilandel. En elegant løsning på dette problemet vil en få når bilholds- og førerkort-modellene er videreutviklet i retning av differensiert bilhold, se avsnitt 2.17.8.

Fordelingseffektene av virkemiddelbruken kan være vanskelige å få fram, i hvert fall dersom vi tenker oss fordeling langs inntektsdimensjonen. Det skyldes at modellene ikke har data om inntekt på husholdsnivå, og at oppdaterte inntektstall på grunnkrets nivå heller ikke er tilgjengelige. I Statistikkbanken på www.ssb.no finner en likevel inntektstall per kommune, fordelt på husholdstyper. Dette kan gjøre det mulig med inntektsfordelingsanalyser på kommunenivå, da riktignok med en viss risiko for nivåfeilslutninger, altså at en feiltolker sammenhenger på gruppenivå som gjeldende også på individnivå.

Fordelingsvirkningene langs andre dimensjoner, så som kjønn, alder, bostedsregion, husholdstype, husholdsstørrelse eller bilhold, er enklere å få fram. Det må imidlertid advares mot å regne bilholdet som utenfra gitt (eksogent) i en fordelings- eller konsekvensanalyse. Mange areal- og transporttiltak vil ha som effekt at bilholdet endrer seg, i alle fall på noe sikt; det gir da dårlig mening å betinge med hensyn på bilholdet.

2.17 Reiseetterspørselsmodellenes sterke og svake sider

2.17.1 Simultan struktur

Reiseetterspørselsmodellene er simultane strukturelle modeller, basert på økonometrisk estimerte relasjoner for kvalitative konsumvalg²¹. I slike modeller summerer valgsannsynlighetene seg til 1, dvs. at alle utfall er innbyrdes avhengige, på liknende måte som i et system av simultane økonomiske relasjoner. En eksogen endring i egenskapene ved ett av alternativene vil ha virkning for alle markedsandelene. Økte bompengetakster eller andre bilbrukskostnader vil f.eks. føre 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 vegforbindelser, vil kunne forrykke 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 framkommelighetsfunksjonene i rutevalgsmodellene. Økt belastning på en veglenke 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.

2.17.2 Bred dekning og anvendelse

Som i mange andre land har en i Norge utviklet et omfattende modellapparat for beregning av reiseetterspørsel og analyse av aktuelle samferdselspolitiske tiltak. Apparatet utgjør et konsistent system for prediksjon av befolkningens reiseatferd under gitte betingelser. Systemet består som ovenfor beskrevet av én landsomfattende modell, NTM6, for 'lange' reiser, dvs. reiser lengre enn 70 km én veg, og et antall regionale modeller, RTM, for 'korte' reiser under 70 km. Modellene kombinerer mikroøkonomisk baserte modeller for valg av reisehyppighet, reisemål, reisemiddel og reiserute med matematiske nettverksmodeller for transportsystemet, dvs. veger, jernbaner, havner og lufthavner. De rutegående reisemidlenes takster og rutetabeller er også matet inn i systemet.

Felles for alle reiseetterspørselsmodellene er at de dekker nesten alle aktuelle transportmidler og får fram hvordan reiser fordeler seg på transportmidler, -relasjoner og -korridorer avhengig av inngangsdata om energipriser, avgifter, transporthastigheter, avgangsfrekvenser mv. Modellene kan beregne effektene av endringer i økonomiske og fysiske rammebetingelser som f.eks. infrastruktur (veger, jernbaner og farleder) og transporttilbud (endret rute-tilbud eller frekvens for rutegående transportmidler i luften, til sjøs og til lands). Modellene kan m.a.o. beregne effektene av raskere veger, jernbaner, flyruter og kollektivruter (buss, båt og bane).

Motorsykler er ignorert i modellene. Mange av motorsykelreisene gjøres for turens egen skyld. Slike reiser er generelt ikke med i modellen, enten det dreier seg om turgåing, jogging, skigåing, sykkelturner for trening eller rekreasjon, e.l. Motorsykelbruken har i virkeligheten et omfang som svarer til ca. 2,5 prosent av personkilometerne med bil.

²¹ Kvalitative konsumvalg kjennetegnes ved at kjøperen velger én bestemt *kvalitet* snarere enn et bestemt *kvantum* av et produkt. Eksempler er valg av reisemiddel (bil, buss, tog, trikk, t-bane, sykkel, gange), valg av bilmodell (Volkswagen Golf TDI, Volvo V70, Tesla Model S, Nissan Leaf, etc.), valg av yrkesdeltaking (aktiv, passiv), valg av utdanning, valg av bolig, valg av ektefelle/samboer, osv.

Sykling er et annet smertensbarn, ikke minst fordi sykkelvegnettet og andre typer tilrettelegging for syklistene lenge har vært svakt reflektert i nettverksmodellen. Det har vært gjort arbeid for å kategorisere infrastrukturen etter grad av tilrettelegging for syklistene, så dette er i ferd med å bedres. En utfordring ved både gangturer og sykkelturen er imidlertid at de ofte er korte og blir dårlig representert i et system der turer går mellom sonesentre (tyngdepunktene i grunnkretsene). Elektriske (sparke)sykler er i dagens modellversjon ignorert.

2.17.3 Datagrunnlag og empirisk forankring

Parameterne i modellene er estimert på grunnlag av de landsomfattende reisevaneundersøkelsene (RVU) om befolkningens faktiske reiseatferd. RVU gir en rekke opplysninger om de personene som reiser, og om de reisene som foretas. RVU gir imidlertid ikke opplysninger om de reisemulighetene personene har stått overfor, men valgt å ikke benytte. For å forstå og forutsi reiseatferden må en ha informasjon også om disse reisealternativene. Ved hjelp av nettverksmodeller for transportsystemet beregner en derfor såkalte level-of-service-variable (LoS) for alle aktuelle reisemidler og reisemål. LoS-variablene fanger opp reisealternativenes egenskaper (pris, reisetid, avgangshyppighet, mv). Ved å variere disse kan en anslå virkningen av ulike, politiske bestemte tiltak, så som endringer i drivstoffavgiftene, infrastrukturforbedringer som reduserer reisetiden, lavere priser eller forbedret frekvens i kollektivtransporten, etc.

Hvor langt ut kan en variere disse vilkårene? Modellens matematiske struktur er slik at det logisk sett ikke er noe til hinder for å ekstrapolere langt ut: markedsandelene holder seg alltid mellom 0 og 100 prosent, og de kumulative effektene av flere samtidige tiltak blir beregnet på en konsistent måte, i samsvar med mikroøkonomisk teori. Modellens datagrunnlag inneholder først og fremst tverrsnittsvariasjon – forskjeller mellom ulike hushold og geografiske enheter og områder. I de fleste praktiske anvendelser, og spesielt ved infrastrukturbygging, vil det aktuelle variasjonsområdet ligge godt innenfor modellens empiriske grunnlag.

Nettverksdataene vil i noen tilfeller 'ta feil' mht. hvilke alternativ den reisende har stått overfor, eller i det minste innebære en mindre enn fullgod representasjon av individets opplevde valgmuligheter. Det er i prinsippet mulig å tenke seg at hver respondent i stedet gav informasjon om alle aktuelle reisemåter, ikke bare den reisemåten som faktisk ble valgt. Men det ville gjøre dataene subjektive og løsrevet fra det faktiske rutetilbudet. Fordelen med nettverksdata er at de er objektive og kan knyttes til faktiske eller kontrafaktiske variasjoner i infrastrukturen, prisene eller kollektivtilbudet.

For reiseetterspørselsmodellene 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 vaske dataene og ferdigstille dem for forskning og analyse. Enda lengre tid tar det før nettverksdata er påkodet og reisene er satt sammen til turkjeder, så en kan estimere reisemiddelvalgmodeller. En risikerer i stadig større grad at datamaterialet er utdatert før det kan tas i bruk og danne grunnlag for modellering.

Skjerpede rutiner for datahåndtering legger også hindringer i vegen for mange forskere og modellutviklere. De opplever det eksempelvis som stadig mer krevende, kostbart og byråkratisk å motta data fra Statistisk sentralbyrå.

2.17.4 Avstandsavgrensning mellom modellene

En utfordring med uvisst betydning er skillet mellom korte turer (i RTM) og lange turer (i NTM6). De to modellene kommuniserer ikke med hverandre. Det innebærer at ifølge

modellsystemet er det vanntette skott og null konkurranse mellom reisemål som ligger henholdsvis 65 og 75 km fra bostedet. Bakgrunnen for dette skillet er å finne datainnsamlingsrutinene. Hovedkilden til data i RVU er reisedagboken, hvor hver respondent skal redegjøre for gårsdagens reiser. Nesten alle de reisene som her framkommer, er korte. For å få nok informasjon om lange reiser spør en i tillegg spesielt om dette, for en periode på én måned bakover i tid. Dermed oppstår det to ulike datasett for reiser av ulik lengde. Det er uklart hvor stort problem dette vilkårlige skillet representerer med tanke på reisetterspørsels- og klimaanalyse.

For visse typer analyser er det et tydelig handikapp. Eksempler på dette er InterCity-tilbudet på bane på Østlandet, der arbeidsreiser på over 70 km er en viktig del av grunnlaget for å vurdere en utbygging av jernbanetilbudet i regionen. For å kunne analysere dette har Jernbanedirektoratet finansiert en egen modell som brukes for å analysere dette markedet, og som også tar høyde for konkurranse fra andre transportmidler. Modellen, utviklet av Vista, er imidlertid proprietær, ikke fritt tilgjengelig til bruk og spesialtilpasset problemet den analyserer.

Teknologiske nyvinninger kan føre til at økt komfort, sikkerhet og hastighet ved flere transportmidler kan bidra til at reiser over 70 km blir vanligere og viktigere. Dette kan komme til å gjøre arbeidsdelingen mellom RTM og NTM6 til et større problem enn i dag.

2.17.5 Verdsettingsfaktorer

Det brukes tre ulike sett med verdsettingsfaktorer i henholdsvis etterspørselsmodellen, rutevalgsmodellen og trafikantnyttemodulen i RTM. Med hensyn til enhetsverdien av reisetid, finnes det i realiteten flere ulike kilder, og et til dels uavklart problem er hvilke enhetsverdier som skal nyttes i ulike sammenhenger. Ved estimering av reiseatferdsmodellene framkommer det i prinsippet en (implisitt) enhetsverdi, som er den reduksjon i kontant-kostnaden som må til for å akkurat oppveie én enhets økning i reisetiden. En annen tidsverdi vil normalt komme ut av de spesialiserte tidsverdiundersøkelsene (Magnussen m.fl. 2017). Det er denne verdien som normalt legges til grunn i nyttekostnadsanalyser. Tidsverdiene kan variere langs ulike dimensjoner og for ulike aggregeringsnivå. Det innebærer at det ikke nødvendigvis er samme tidsverdi som legges til grunn ved henholdsvis rutevalget, etterspørselsberegningen og nytteberegningen. Størst problemer oppstår hvis rutevalget angir én rute (f.eks. en ny veg) som best, mens nytteberegningen definerer denne ruten som dårligere enn den som opprinnelig var brukt – det nye prosjektet kan da få beregnet negativ nytte. Ved TØI arbeider en med å løse dette problemet med sikte på bedre konsistens gjennom hele modellsystemet.

Tiltak kan føre til at reisende velger reiseruter som gir lavere transportkostnader i de to førstnevnte modellene, men økte transportkostnader dersom man legger til grunn de offisielle verdsettingsfaktorene. Dette gjelder spesielt i tilfeller med gode omkjøringsmuligheter og mye trafikk, og der man kan spare tid på å kjøre mange ekstra km. Dermed vil RTM i varierende grad modellere at enkelte reisende tar reisevalg i tiltaksalternativet som skaper negativ nytte, til tross for at de kunne tatt samme reisevalg som i nullalternativet.

Det kan innvendes at reisende ikke nødvendigvis tar inn over seg den fulle samfunnsøkonomiske kostnaden av f.eks. slitasje på bilen av å kjøre flere kilometer, eller at de ikke har kunnskap om omkjøringsruter for å unngå bompenger. Det kan dermed delvis være reelt at reisende velger reisevalg de tilsynelatende taper på. Steinsland m.fl. (2019) dokumenterer imidlertid at disse negative bidragene i enkelte tilfeller utgjør over 20 prosent av de positive trafikantnyttebidragene. Det innebærer at modellene i enkelte tilfeller produserer falske negative trafikantnytteeffekter og dermed trolig bidrar til undervurdering av nytten.

Verdsettingsfaktorer for klimautslipp er nylig endret til å skulle holde en bane som er forenlig med at Norge oppfyller utslippskravene i henhold til Paris-avtalen. Dette har medført en kraftig oppjustering av verdsettingsfaktorene for klimautslipp, se avsnitt 3.13. Hvorvidt dette fører til atferdsendring i RTM og NTM6 avhenger av om modellbrukeren justerer kilometerkostnaden.

2.17.6 Usikkerhet og aggregeringsnivå

Resultater fra beregningene kan gis på nasjonalt nivå, men de kan også brytes ned til mer spesifikke geografiske områder, f.eks. fylker, byområder eller transportkorridorer. Usikkerheten øker jo finere geografisk nivå man studerer resultatene på. Dette betyr f.eks. at resultater for et enkelt byområde eller transportkorridor er mer usikre enn når man ser på en større region eller på landet som helhet, og enda mer usikkert blir det om man studerer trafikken på enkeltlenker.

Beregninger gjort med modeller for store geografiske områder gir ikke en like nøyaktig representasjon av forsinkelsene i et område som dersom man kjører en bymodell med fire tidsperioder i løpet av døgnet (to rushtidsperioder pluss dag og natt) og et stort antall iterasjoner. Men de vil til en viss grad fange opp at tidsbruken kan være betydelig høyere i rushtid enn utenfor rushtid, og at dette vil bli verre utover i en analyseperiode på grunn av økt press på vegene når befolkningen vokser. Dersom trafikken i modellen flyter for fort, vil modellen overestimere biltrafikken, spesielt i de større byområdene. I praksis vil det nok mange steder være slik at økt befolkning (og muligens økt reiseaktivitet) fører til økte køer framover, mens man andre steder vil ha vegprosjekter som løser flaskehalser, slik at tidsbruken kan bli lavere i framtiden enn i dag.

2.17.7 Validering

Det foreligger to rapporter²² der en har sammenliknet modellprognosene med faktisk trafikkvekst og vurdert hvorvidt forutsetningene har vist seg realistiske i den forstand at de har stemt med den senere observerte utviklingen. Et generelt trekk er at prognosene treffer relativt bra på den underliggende transport- og trafikkveksten, men at de ikke klarer å fange opp de nivåskift en får ved at en i enkelte år har en spesielt kraftig vekst eller tilbakegang. I prognosene er økonomisk og demografisk utvikling samt prisutvikling for transport eksogent gitt, basert på vekstbaner fra Finansdepartementets beregningsmodeller, samt SSBs prognoser for befolkningsvekst. Disse faktorene er førende for nivået på prognosene, for regional fordeling og for fordeling mellom transportformene. Vi finner da også at transportprognosene 'bommer' i tilfeller der input treffer dårlig med faktisk utvikling. Spesielt befolkningsutviklingen er en viktig driver for transportomfanget, samtidig er den relative prisutvikling mellom transportformene av betydning for transportmiddelfordelingen, selvsagt sammen med utviklingen i transporttilbudet (veger og kollektivtilbud).

Det er også gjort ulike etterprøvinger av beregnet og faktisk trafikkutvikling ved et betydelig antall vegprosjekter²³. Man finner naturlig nok høyere trafikkvekst enn beregnet for en del av prosjektene og lavere for andre. Fossum m.fl. (2018) har analysert årsaker til at beregningen ikke treffer, ved at man i etterkant har gjentatt beregningen med faktisk utvikling i befolkning, arbeidsplasser, økonomisk utvikling og drivstoffpris. I to konkrete eksempler viste opprinnelig beregnet trafikk seg å være noe lavere enn faktisk trafikk etter åpning av ny veg. Ny beregning med faktisk utvikling i inputvariablene endrer trafikken til

²² Madslien & Hovi (2007), Grue m.fl. (2016).

²³ Odeck (2013), Odeck & Welde (2017), Fossum m.fl. (2018).

en liten overestimering. En generell konklusjon fra de ulike etterprøvingene er at modellene treffer rimelig bra, selv om de også kan bomme grovt for enkelte vegprosjekt. Andre konklusjoner er at man treffer betydelig bedre enn ved tidligere beregninger på grunn av forbedringer som er gjennomført i modellene, samt at det er høyere grad av presisjon i prognosene i Norge enn i land det er sammenlignet med.

2.17.8 Ensartede biler

En svakhet ved persontransportmodellene er som nevnt at de opererer med bare én sats for variabel kilometerkostnad for personbiler – alle biler anses i en viss forstand å være like. Etter hvert som en større del av bilene går på (billig) strøm og står overfor reduserte bompenger og fergetakster, blir denne homogenitetsforutsetningen stadig mindre realistisk. Men TØI har utviklet en praksis for å løse dette problemet. En kjører modellen én gang for hushold med hver type bil (bensin-/dieselbil, elbil, hybrid, osv.) og 'later som' om dette er hele befolkningen/bilparken. Deretter summerer en reisestrømmene fra de ulike kjøringene, men justerer tidskostnadene slik at en tar hensyn til at alle kjøretøy bruker det samme vegnettet og slik reduserer hverandres framkommelighet.

En fullgod løsning på dette problemet vil en først kunne få når bilholds- og førekortmodellene (BHFK) er videreutviklet i retning av differensiert bilhold, med valgsannsynligheter for ulike typer biler avhengig av husholdskjennetegn og den lokale geografiske konteksten (konkret forekomsten av fergeruter, bompengebelagte veger, kollektivfelt, mv.).

Overgangen til elektriske biler vil gjøre energikostnadene ved bilbruk betydelig lavere. En må forvente at dette vil gjøre privatbilen mer konkurransedyktig og bidra til økt vegtrafikk, uten samtidig å øke klimagassutslippene. Dette drøftes nærmere i kapittel 6.

2.17.9 Bilpassasjerer

Antall bilpassasjerreiser beregnes i RTM/NTM6 ved hjelp av en egen nyttefunksjon. Men personer under 13 år inngår ikke i RVU og dermed heller ikke i reiseetterspørselsmodellene. Dersom kilometerkostnaden ved bilkjøring øker kraftig, f.eks. på grunn av høyere bensinpris eller flere og dyrere bomveger, vil man forvente at passasjerbelegget på den gjennomsnittlige reisen vil øke, slik at flere kan dele kostnadene. Overgang til elbiler med svært lave energi- og bompengerekostnader vil ha motsatt effekt. Det er uklart hvor godt disse effektene fanges opp av modellene (Steinsland & Fridstrøm 2014).

2.17.10 Sykling

Modellene har tradisjonelt ikke vært særlig godt egnet til å beregne effektene av tiltak for å øke gang- eller sykkelandelen, f.eks. bygging av egne sykkeltraséer. Modellen treffer heller ikke alltid så godt på gang- og sykkelandelen når en ser på mindre områder, da en ikke får fram i hvilken grad det er godt tilrettelagt for disse transportmåtene på enkeltrelasjoner og i det gitte området. Dette er forhold en arbeider med å forbedre til senere versjoner av modellverktøyet.

2.17.11 Kapasitet i kollektivtransporten

Iblant gjør en analyser av tiltak som fører til kraftig vekst i antall kollektivturer, f.eks. ved etablering av nye og forbedrede kollektivtilbud. Når en kjører modellen for beregningsår langt fram i tid, vil man også få en stor økning i antall kollektivturer, da befolkningsveksten i seg selv genererer flere kollektivturer. Modellen opererer ikke med noe kapasitetstak i kollektivtransporten, men forutsetter at det alltid er nok plass. For mindre tiltak som fører

til begrenset vekst i antall kollektivreisende, fungerer en slik forutsetning greit. Ved tiltak som fører til en sterk overgang til kollektivtransport, kan en i praksis tenke seg ulike scenarier:

- Kapasiteten økes ikke, og en del av modellens beregnede trafikkvekst vil i virkeligheten avvises på grunn av manglende plass. Modellen har da beregnet en høyere bruk av kollektivtrafikk enn det en vil se i praksis.
- Kapasiteten økes i takt med etterspørselen uten at frekvensen endres (f.eks. ved lengre tog, større busser, flere samtidige avganger osv.). Den reisende vil da oppleve transporttilbudet som uendret, en situasjon som samsvarer med det som skjer i modellen.
- Kapasiteten økes ved at frekvensen økes. Den reisende vil da i praksis oppleve et bedret kollektivtilbud (kortere ventetid), og antall kollektivreiser øker ytterligere på grunn av økt frekvens – den såkalte Mohring-effekten (Mohring 1972, Jansson 1980, Jara-Diaz & Gschwender 2003). Modellen vil i en slik situasjon underestimere veksten i kollektivtransport.

Hva som er mest realistisk, må vurderes i samband med den enkelte modellberegning.

3 Nasjonalt godsmodellssystem

3.1 Oversikt

Nasjonalt godsmodellssystem består av nasjonal godstransportmodell (NGM), modellen GodsNytte og likevektsmodellen Pingo. NGM består av følgende fem hovedelementer:

1. *Varestrømsmatriser*, som representerer årlig vareflyt mellom norske kommuner og mellom norske kommuner og utlandet, fordelt på 39 aggregerte varegrupper. Varestrømsmatrisene kan framskrives vha. modellen Pingo.
2. Database om antall *bedrifter* i hver sone som er henholdsvis leverandører eller mottakere av hver varetype i varestrømsmatrisene.
3. *Kostnadsmodeller*, som representerer transportmidlenes tids- og distanseavhengige kostnader relatert til framføring av godset, samt laste-, losse- og omlastingskostnader og kapitalkostnader (inkludert degraderingskostnader, dvs. potensielt verditap under transporten) for varer i transport. Det inngår også andre logistikkostnader som kan ha betydning for sendingsstørrelse, -frekvens og transportmiddelvalg, som ordrekostnader, lagerholdskostnader mv.
4. *Nettverk* som representerer de fysiske framføringsårene for veg, sjø, jernbane og fly-transport, og omlastingspunkter (terminaler og havner) mellom disse. Basert på dette nettverket hentes ut informasjon om transportdistanse, transporttid etc. mellom alle soner i systemet, ved ulike transportmidler og kjøretøytyper. Disse dataene benyttes sammen med kostnadsfunksjonene til å etablere transportkostnader for alle framføringsalternativer.
5. Optimeringsrutiner for valg av sendingsstørrelse og transportkjede, der optimering gjøres basert på minimering av logistikkostnadene. Denne delen omtales gjerne som *logistikkmodulen*.

Modellsystemet kan deles inn i en etterspørsels- og en tilbudsside. Etterspørselssiden er representert ved varestrømsmatrisene (Hovi 2018), databasen over antall bedrifter i hver sone og ved modellen Pingo (Hansen 2019, Ivanova m.fl. 2002, Vold & Jean-Hansen 2007, Hansen m.fl. 2017). Tilbudssiden er representert ved kostnadsfunksjoner (Grønland 2018), en nettverksmodell (Madslien m.fl. 2015) og en logistikkmodul (de Jong m.fl. 2013). Sendingsfrekvenser og transportløsninger velges slik at bedriftenes logistikkostnader minimeres på grunnlag av informasjon om transportdistanse og tid (LoS-data) for ulike transportmidler hentet fra nettverksmodellen. Nettverksmodellen kan også benyttes til å lage kartplott, basert på transportmiddelfordelte varestrømmer eller turmatriser fra godsmodellen.

3.2 Varestrømsmatriser

Da ulike egenskaper ved godset stiller ulike krav til transportkvalitet og framføringstid, er varestrømmene inndelt i 39 aggregerte varegrupper, som vist i Tabell 3.1. Det viktigste

prinsippet for inndeling er krav til transportkvalitet og hvor i verdikjeden varen er. Det går viktige skiller mellom (i) innsats- og konsumvarer og (ii) bulk- og stykkgoods.

Varestrømmene er i hovedsak basert på grunnlagsdata fra 2014, men er kalibrert og validert mot offentlig statistikk for 2016 for å ivareta aktualiteten til varestrømmene og godsmodellen. Vi vil derfor referere til at varestrømsmatrisene har basisår 2016. Fra arbeidet med siste sett av basisframskrivninger (Madslien m.fl. 2019) er det utarbeidet varestrømsmatriser framskrevet til 2018 (og øvrige prognoseår). Modellbrukeren kan altså velge hvilket år som skal være referanseåret i analysene.

Tabell 3.1: Varegrupper i NGM. Kilde: Hovi (2018).

Varegruppe i NGM			
1	Jordbruksvarer	21	Papir
2	Frukt, grønt, blomster og planter	22	Trykksaker
3	Levende dyr	23	Kull, torv og malm
4	Innsatsvarer termo	24	Stein, sand, grus, pukk, leire
5	Fersk fisk og sjømat	25	Mineraler
6	Fryst fisk og sjømat	26	Maskiner og verktøy
7	Termovarer, konsum	27	Elektrisk utstyr
8	Matvarer konsum	28	Byggevarer
9	Drikkevarer	29	Sement og kalk
1	Dyrefôr	30	Forbruksvarer
11	Organiske råvarer	31	Høyverdivarer
12	Andre råvarer	32	Transportmidler
13	Jern og stål	33	Petroleum uraffinert
14	Andre metaller	34	Naturgass
15	Metallvarer	35	Raffinerte
16	Kjemiske produkter	36	Bitumen
17	Plast og gummi	37	Avfall og gjenvinning
18	Tømmer og produkter fra skogbruk	38	Bearbeidet fisk
19	Trelast og trevarer	39	Kunstgjødsel
20	Flis og tremasse		

Datagrunnlaget som matrisene bygger på, er en sammenstilling av mange typer av grunnlagsdata, fordi det ikke finnes én kilde til denne informasjonen som dekker alle varestrømmer. De viktigste datakildene er følgende undersøkelser:

1. SSBs varetransportundersøkelse fra 2014 (utgående leveranser fra industri og engroshandel, inkludert rapporter over alle tømmertransporter (SkogData) og innenriks petroleumsleveranser)
2. SSBs utenrikshandelsstatistikk fra 2014 (all utenrikshandel)
3. SSBs lastebilundersøkelse (innenriks transport av massevarer som ikke inngår i varetransportundersøkelsen)
4. SSBs kvartalsvise havnestatistikk (innenriks sjøtransport som ikke inngår i varetransportundersøkelsen)
5. Informasjon om produksjonssted for jordbruk fra DataNorge og for fiskeri og oppdrett fra SSB
6. Supplerende bransjeinformasjon om lokasjon til foredlingsindustrien for jordbruksprodukter.

Geografisk er varestrømmene lokalisert til bydeler for de seks største byene, mens øvrige kommuner innenriks er representert ved én sone per kommune. For destinasjoner i Europa

er hovedregelen at hvert land er representert ved én sone, mens andre verdensdeler i hovedsak er representert ved én sone per kontinent. Våre nærmeste handelspartnere er imidlertid representert med mer enn én sone. Sverige har mest detaljert inndeling, med 13 soner. Varestrømsmatrisene er tilrettelagt for en mer detaljert soneinndeling, såkalte delområdesoner som utgjør i alt 1 545 soner innenlands. Dette er samme inndeling som benyttes i den nasjonale persontransportmodellen (NTM6). Nettverksmodellen er foreløpig ikke tilrettelagt for at dette detaljnivået kan implementeres i modellen. Det vil si at dersom en mer detaljert soneinndeling skal implementeres i modellen, gjenstår det arbeid i å tilrettelegge nettverket.

Varestrømsmatrisene framskrives til hvert aktuelle framtidsår basert på næringsøkonomiske vekstbaner fra Finansdepartementet, men informasjon om antall bedrifter per sone endres vanligvis ikke i framskrivingsperioden.

3.3 Bedriftsdata

I NGM fordeles varestrømmer mellom soner til varestrømmer mellom bedrifter, basert på informasjon om antall bedrifter etter nærings- og størrelseskategorier som henholdsvis leverer og mottar ulike typer av varer.

3.4 Likevektsmodellen Pingo

Pingo er en SCGE-modell: Spatial Computable General Equilibrium, dvs. en løsbar generell likevektsmodell med en geografisk inndeling fordelt på 89 økonomiske regioner i Norge, samt 7 utenlandssoner. Modellen representerer hele den norske økonomien og brukes blant annet til å regionalisere nasjonale vekstrater fra Finansdepartementets planleggingsmodell Demec og befolkningsprognosene fra SSB. De regionaliserte vekstbanene knyttes så til varestrømmer mellom og internt i hver sone i NGM. Pingo er kalibrert slik at varestrømmene (i verdi) som ligger til grunn for handelen innad i og mellom soner i basisåret, samsvarer med varestrømmer (i tonn) fra NGM.

Pingo har vært gjenstand for et betydelig utviklingsarbeid de senere årene. Modellstrukturen er nå som følger:

- 89 innenlandske og 7 utenlandske soner. Innenlandsk soneinndeling tilsvarer SSBs oppdeling i økonomiske regioner^{24, 25}, mens de utenlandske sonene reflekterer Norges viktigste handelspartnere og summerer seg til total import og total eksport²⁶.
- Vare-/sektorinndeling etter aggregater av sektorinndelingen SN2007²⁷ (SSB). I valg av detaljeringsnivå er det lagt vekt på (i) at vareproduserende sektorer skal være så detaljert definert som datatilgjengeligheten tillater, samtidig som (ii) det skal være mulig å koble de vareproduserende sektorene opp mot varegruppene i NGM, slik at varestrømmene derfra kan allokere til sektorer. I alt består modellen av 35 sektorer, hvorav 19 er vareproduserende. De øvrige sektorene produserer private og offentlige tjenester. Dette fører til potensielt 3 315 økonomiske enheter totalt (35 sektorer per sone og 89

²⁴ http://www.ssb.no/a/publikasjoner/pdf/nos_c616/nos_c616.pdf

²⁵ De økonomiske sonene «1292 – Søndre Sunnhordaland» og «1293 – Nordre Sunnhordaland» måtte slås sammen til den aggregerte sonen «1296 – Sunnhordaland» på grunn av manglende datatilgjengelighet.

²⁶ Sverige, Norden for øvrig, Nederland, Tyskland, Storbritannia, resten av Europa, resten av verden

²⁷ <http://stabas.ssb.no/ItemsFrames.asp?ID=8118001&Language=nb>

økonomiske soner), men det faktiske tallet er noe lavere, da ikke alle varer og tjenester blir produsert i alle soner.

- Pingo bygger på et referansedatasett som inneholder alle transaksjonene i økonomien i et basisår. Dette referansedatasettet er i hovedsak basert på tilgangs- og anvendelses-tabeller produsert av SSB. I nåværende modellversjon er basisåret 2016, som i NGM.

En delmodul i Pingo, som inneholder en gravitasjonsmodell²⁸, benyttes til å regionalisere de eksogene nasjonale vekstbanene basert blant annet på befolkningsprognoser fra Statistisk sentralbyrå (SSB) og kryssløpsinformasjon om input-output i 89 økonomiske regioner, samt import og eksport fra modellens SAM-matrise (SAM = ‘Social Accounting Matrix’). Likevektsmodellen i Pingo kan videre brukes til analyser av hvordan store eksogene kostnadsendringer (blant annet som følge av endringer i rammebetingelser eller infrastrukturprosjekt) påvirker omfanget av og lokaliseringen av varestrømmene.

Anledningen til å velge forutsetning om markedsstruktur i ulike delmarkeder – fri eller monopolistisk konkurranse – muliggjør analyser av ‘wider economic benefits’ (mernytte) av infrastrukturinvesteringer. Iterative analyser i vekselvirkning mellom *Pingo* og *Nasjonal godstransportmodell* kan i prinsippet gi innsikt i hvordan endrede varestrømmer påvirker logistikkostnader, transportmiddelfordeling og bruk av ulike terminaler i transportsystemet. Dersom dette benyttes som ny input i Pingo, kan det også til dels analyseres hvordan produksjonsstrukturen påvirkes av ny terminalstruktur og nye logistikkostnader. Men noen slik beregning er foreløpig ikke gjort.

Det krever betydelig spesialkompetanse å kjøre modellen, og det tar tid – både maskintid og persontid, selv om selve kjøretiden for modellen er kortere enn for persontransportmodellene. Likevektsmodellen Pingo krever i tillegg at brukeren har gyldig [Gamlisens](#) og har tilgang til bestemte algoritmer. I praksis har ikke Pingo vært benyttet av andre brukere enn en liten håndfull forskere ved TØI, men det pågår for tiden et forskningsprosjekt der TØI samarbeider med SSB, Menon og Vista Analyse om å utvikle Pingo til en regional-økonomisk modell. Dette arbeidet har foreløpig ikke hatt fokus på de applikasjoner som Pingo har vært brukt til per i dag sammen med transportmodellene.

3.5 Kostnadsmodellene

Det er utviklet kostnadsmodeller for i alt 62 ulike transportmidler, fordelt på de fem hovedtransportformene veg, jernbane, sjø, luft og utenlandsferger. Dette fordeler seg på 11 ulike kjøretøytyper for vegtransport, 12 ulike togtyper, 36 skipskategorier, 2 fraktfly, i tillegg til utenlandsferger. Kjøretøykategoriene skal ivareta godsets ulike krav til transportkvalitet (som f.eks. stykkgoods, termovarer, tørr og flytende bulk) og at det er skalafordeler i transport. For jernbane er det også differensiert etter om lokomotivet er elektrisk eller diesel-drevet.

Kostnadene kan grovt inndeles i framføringskostnader, laste-/losse- og omlastingskostnader og vareavhengige kostnader. Framføringskostnadene for et kjøretøy er fordelt mellom tidsavhengige kostnader per time og distanseavhengige kostnader per km. Lønn og sosiale kostnader og kapitalkostnader for transportmateriell er de viktigste tidsavhengige

²⁸ En gravitasjonsmodell innebærer, i analogi med Newtons tyngdelov, at strømmen mellom to soner er mer eller mindre proporsjonal med hver sones størrelse, målt på en eller annen måte, og omvendt proporsjonal med avstanden mellom sonene.

komponentene, mens kostnader knyttet til drivstoff og vedlikehold er de viktigste distanse-avhengige komponentene. For sjøtransport er vedlikehold allokert til de tidsavhengige kostnadene, slik at disse reflekterer det som vanligvis dekkes av Time-Charter-kontrakter.

Totale framføringskostnader for transport mellom to steder beregnes ved summen av tids- og distanseavhengige kostnader. I tillegg til framføringskostnader kommer kostnader knyttet til lasting, lossing og omlasting. Disse kostnadene avhenger både av antall sendinger og av antall tonn som lastes og losses. Omlastingskostnader ('transferkostnader') mellom transportmidlene per tonn og per forsendelse beregnes på bakgrunn av laste- og lossekostnader og kostnader for fylling og tømning av lastbærere.

I NGM var i utgangspunktet terminalkostnadene uavhengige av geografisk lokalisering, basert på gjennomsnittsbetraktninger for terminalenes effektivitet. Dette er nå differensiert i tre kategorier (klasser), med ulike kostnadsmodeller utviklet for hver av terminalklassene. Klasse II er standardklassen ('default') som skal representere den 'gjennomsnittlige' terminalen, og er representert i basiskostnadsfunksjoner for NGM. Terminalklasse I representerer enklere terminaler (lavere investeringer i utstyr og færre ressurser generelt brukes i laste-/losseprosessen) enn standardterminalen i II. Samtidig er tiden til lasting/lossing lengre enn for II, og tidskostnader for transportmidlene blir tilsvarende høyere. Terminalklasse III representerer større og mer effektive terminaler enn standardterminalene i klasse II. Typisk skyldes dette forhold som skalaøkonomi, større volum og høyere automasjonsnivå. Modellen er også tilrettelagt for analyser av enda mer effektive terminaler, ved at en kan definere dem som kategori IV (eller høyere), med tilhørende lavere omlastingskostnader.

De viktigste vareavhengige kostnadene i NGM er:

- Varevederlag (vareavgifter) i havnene
- Tidskostnader for varene under transport
- Lagerholdskostnader for transportbrukeren
- Ordrekostnader ved bestilling for transportbrukeren
- Degraderingskostnader (potensielt verditap for varer under transport)

Til hver varegruppe er det tilordnet en tidsverdi bestående av to komponenter, henholdsvis kapitalkostnader for varer under transport og en degraderingskostnad som representerer at varer taper seg i verdi over tid, eller at varen har spesielle krav til transportkvalitet. Tidsverdien er med på å avgjøre hvilken transportløsning som velges. Kostnadsmodellene har basisår 2016 for de ulike kostnadskomponentene.

3.6 Nettverksmodellen

Transportnettverkene i NGM representerer de fysiske framføringsårene for veg-, sjø-, jernbane- og flytransport, samt terminaler og omlastingspunkter mellom transportformene. De er implementert i programvaren CUBE Voyager. Basert på dette nettverket hentes det ut informasjon om transportdistanse, transporttid etc. mellom alle soner i systemet, ved ulike transportmidler og kjøretøytyper, bompengetakster og fergetakster, samt alle transfermuligheter (bytte mellom to transportmidler, som f.eks. skjer i havner og jernbaneterminaler). Samlasteterminaler, havner og jernbaneterminaler, i tillegg til enkelte store transportbrukeres lagre, er kodet inn i nettverksmodellen.

Vegnettet er basert på Nasjonal vegdatabank og er det samme som benyttes i NTM6, men med noen tilpasninger til næringstransport. I tillegg er et grovt vegnett for resten av Europa inkludert. Selv om vegene er de samme som brukes i persontransportmodellene, så ligger

det en annen fartsmodell til grunn, da det i mange sammenhenger er forskjell på hastighet for tunge biler og for personbiler. Dette skyldes både at de tunge bilene ikke har lov til å holde de høyeste hastighetene, og at kurvatur og stigningsforhold spiller en større rolle for tunge biler.

For tog er jernbanenettet og godsterminalene representert, mens sjønettverket består av farleder og havner. I tillegg er en del viktige vegterminaler og lufthavner kodet inn i nettverket. Jernbane-, sjø- og flyrutenettet har forbindelser til Europa. Sjø- og flyrutenettet har også forbindelser til oversjøiske destinasjoner.

Nettverksmodellen er relevant for framskrivingsarbeidet, fordi planlagte infrastrukturinvesteringer kodes inn. Modellen tar dermed hensyn til at forbedringer i veg- og jernbanenettet vil kunne bidra til å endre konkurranseforholdet mellom transportmidlene. Disse nettverksendringene bidrar til endringer i LoS-matrisene i modellen.

3.7 Logistikkmodulen

Logistikkmodulen er utviklet av det nederlandske firmaet Significance som en serie eksekverbare filer. Denne applikasjonen fordeler godset mellom modellens soner på ulike transportkjeder og via ulike terminaler.

Logistikkmodulen tar utgangspunkt i faste etterspørselsmatriser. Det vil si at den totale mengden gods i modellen er konstant så lenge man benytter samme sett av varestrømsmatriser. Total tonnmengde framkommer fra varestrømsmatrisene, som er input til logistikkmodulen.

Logistikkmodulen beregner transportløsning 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. Uten dette vil en ikke klare å fylle disse transportmidlene, og kostnaden per tonn ville bli høyere i modellen enn den er i virkeligheten.

Sentrale inndata til logistikkmodulen er varestrømsmatrisene, filer med informasjon om transportkostnader, terminalkostnader og godsets 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 kjøretøytyper) mellom par av soner. Sammen med andre logistikkostnader, som degraderingskostnader (at varen taper verdi jo lengre tid transporten tar), lagerholdskostnader, ordrekostnader mv., brukes de beregnede transportkostnadene til å finne optimal transportløsning for alle transportstrømmer innen, til og fra Norge.

Logistikkmodulen består av fire enkeltstående programmer som kjøres etter hverandre, de to siste av dem i flere iterasjoner. Det første programmet er *Firm2Firm*, som genererer transportstrømmer mellom bedrifter basert blant annet på varestrømsmatrisen og bedriftsdata for den aktuelle varegruppen. Neste program, *BuildChain*, bygger transportkjeder for alle kjedetyper (kombinasjoner av transportmidler) som er definert som lovlige for den aktuelle varegruppe. I tredje program, *ChainChoi*, sammenlignes de mulige transportkjedene for en gitt varestrøm, og optimal transportkjede og sendingsfrekvens velges. Programmet *Consolidate* benyttes til å beregne riktig konsolideringsfaktor/utnyttelsesgrad for alle transportmidler på alle de transportkjeder som evalueres.

Informasjon om transportdistanse og transporttid fra nettverksmodellen benyttes som grunnlag for beregning av transportkostnader ved valg av optimal transportløsning. 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.

I Nasjonal godstransportmodell forutsettes perfekt konkurranse blant transportørene, slik at prisen for en transporttjeneste er lik marginalkostnaden. Dette innebærer at endringer i transportkostnader (for eksempel som følge av avgiftsendringer) i sin helhet veltes over på transportbruker. Antakelsen resulterer også i null profitt for transportørene. Konsumentoverskuddet tilfaller dermed transportbruker og kan uttrykkes som differansen mellom logistikkostnader i tiltaksalternativet og referansealternativet. Utfordringen med at kjøretøykostnadene fordeles på den lasten som beregnes på transportenheten, er at en relasjon med lav kapasitetsutnyttelse dermed vil få relativt sett høyere kostnader per tonnkilometer enn en relasjon med høy kapasitetsutnyttelse. I praksis vil prisingen avvike fra dette, ved at prisen reduseres på strekninger med lav utnyttelse, mens prisen settes opp på strekninger med høy utnyttelse (lavere pris for returlasten).

En standard kjøring av logistikkmodulen produserer matriser per varegruppe og transportmiddel for antall tonn gods mellom alle par av soner og terminaler (*Chainchoi.out*). I tillegg rapporteres valgt transportløsning for alle varestrømmene i modellen. Programmet *Report* aggregierer resultatene slik at en får ut 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 slike matriser. 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.

3.8 Aktører

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

Modellen differensierer ikke direkte mellom transporter med bruk av utenlandske aktører 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, og det er lagt opp til at denne vektningen kan differensieres avhengig av hvilket land varene kommer fra eller skal til. For sjøtransport er det benyttet internasjonalt kostnadsnivå på skipstyper hvor utenlandske aktører eller internasjonale flagg i stor grad er praksis.

Transportkostnader beregnes 'bottom-up', og det tas hensyn til at ingen av aktørene kan ta ut profitt. Det vil si at det i modellen er en underliggende forutsetning om fullkommen konkurranse i transportmarkedet.

3.9 Atferdsforutsetninger

I godstransportmodellene 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 samlast være lønnsomt, dvs. at en forsendelse konsolideres med gods fra andre avsendere. Omvendt vil det for varer med lav enhetsverdi gjerne være transportkostnaden som dimensjonerer logistikkostnadene, og derfor vil det være lønnsomt å bestille varer med lav frekvens og slik kunne fylle et helt skip eller tog. Eksempler på dette er tømmer og massetransporter som sand, grus eller malm.

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 sonerelasjon og varetype opererer modellen med diskrete transportkjeder. Det vil si at modellen for hver varestrøm, relasjon og bedriftskategori beregner hvilken frekvens, sendingsstørrelse og transportkjede og hvilke omlastingspunkter for skifte av transportmiddel som minimerer transportkostnaden. Transportkjeden kan bestå av alt fra ett til fire ulike transportmidler. Dette innebærer imidlertid at enkelte eksogene endringer i transportkostnader eller -tid kan gi store utslag for fordelingen mellom transportkjeder, dersom flere kjeder er tilnærmet likeverdige i utgangssituasjonen. Ved andre utgangssituasjoner kan man få minimale effekter i modellen, da kostnadsforskjellene i referansescenariot allerede er for store mellom de alternative transportkjedene. 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 også ulike transportmidler velges på relasjonen.

3.10 Eksogene og endogene variabler

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

Implisitt har det vært forutsatt at Perspektivmeldingens forventninger om næringsvis utvikling (fra Finansdepartementets beregninger med Demec-modellen) kan legges til grunn for framtidig utvikling i godsstrømmene. Dette har vært kritisert av enkelte. Spesielt mener noen at bedriftenes totale virksomhet i virkeligheten er avhengig av transportkostnadene og vil endres mer enn det som følger av Perspektivmeldingens forventninger, og at lokalisering også påvirkes. Dette er nok teoretisk riktig, men antakelig er de relativt små forskjellene i transportkostnader mellom ulike alternativer i mange tilfeller ikke av en slik størrelsesorden at de i vesentlig grad påvirker bedriftenes varestrømmer. Omlokalisering kan i enkelte tilfeller skje. I modellen kan dette testes ut ved å forskyve transportstrømmer og se om det gir positive kostnadseffekter. Omlokalisering er imidlertid ikke noe som skjer automatisk i modellen. Til slike analyser har TØI utviklet likevektsmodellen Pingo. Denne er egnet til å analysere hvordan store kostnadsendringer påvirker omfanget av og lokaliseringen av varestrømmene. Pingo kan kjøres enten med antakelse om fullkommen konkurranse i alle markeder eller med antakelse om monopolistisk konkurranse i alle/utvalgte markeder.

Det er neppe mulig å utvikle et modellverktøy som fullt ut klarer å håndtere endringer i bedrifters lokaliseringsmønster over tid. Denne begrensningen må brukerne av modellverktøyet ta inn over seg og være klar over når modellresultatene presenteres. Iterative analyser gjort med Pingo og logistikkmodulen kan gi innsikt i hvordan endrede varestrømmer påvirker terminalstrukturen og logistikkostnadene i transportsystemet, og dersom dette benyttes som ny input i Pingo, kan det også til dels analyseres hvordan produksjonsstrukturen påvirkes av ny terminalstruktur og nye logistikkostnader.

Modellverktøyet vil ikke kunne predikere hvorvidt det oppstår ny produksjon på lokaliteter hvor det ikke er produksjon av denne varetypen i utgangspunktet, heller ikke hvordan bedriftseiere velger å omstrukturere driften i færre eller flere produksjonsenheter. For slike analyser må det gjøres manuelle korrigeringer i inngangsdataene til modellene. Det ligger muligens utviklingsmuligheter i hvordan det kan innføres automatiserte rutiner for denne type analyser. Per i dag trengs det ekspertkunnskap i modelloppsettet for å gjøre denne typen av manuelle endringer. Det er imidlertid mulig å tenke seg et automatisert oppsett hvor brukerne selv kan stille inn graden av for eksempel sentralisering av produksjonen.

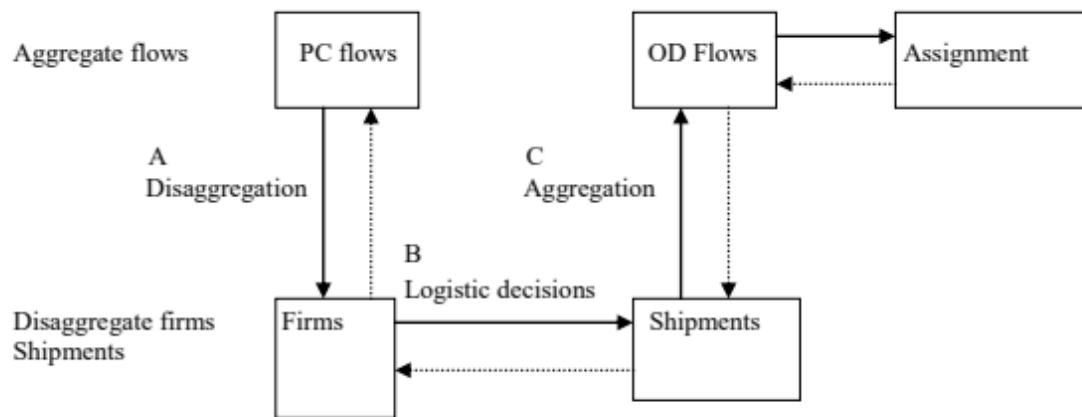
3.11 Teknologi

For godstransporten på veg er den dominerende teknologien fortsatt dieseldrift, i modellene så vel som i virkeligheten. Dette kan, med noen modellmodifikasjoner, tilpasses i et prognoseår ved at en f.eks. legger inn en vektet endring i de tids- og distanseavhengige kostnadene for noen lastebilkategorier. En kan eventuelt legge dette inn ved å inkludere en eller flere nye kjøretøytyper i modellen, med alternative energibærere som biogass, batteri eller hydrogen. Utfordringen er hvordan en kan legge inn en bibetingelse knyttet til begrenset rekkevidde, spesielt for den batterielektriske varianten.

Også for sjøtransport er det mulig å legge til flere fartøyskategorier, men her er det utført mindre arbeid med å utvikle kostnadsfunksjoner for alternative framdriftsteknologier. For sjøtransport er det også mer enn tre ganger så mange kategorier i godsmodellen som det er for lastebiler. Dette gjør at en fort vil ende opp med et svært stort antall kostnadsfunksjoner, selv om det, på grunn av størrelse og krav til rekkevidde, for mange av skipskategoriene ikke vil finnes alternativ til dagens framdriftsteknologi før et godt stykke fram i tid.

3.12 Dynamikk

NGM er basert på et aggregert-disaggregert-aggregert (ADA) modell-system, illustrert i Figur 3.1. Varestrømmer mellom produksjon og konsum (PC) samt nettverksmodellen er spesifisert på aggregert nivå, primært av hensyn til datatilgjengelighet. Det samme gjelder varestrømmer mellom produksjon og grossistnivå (PW) og mellom grossist og konsum (WC). Logistikkmodulen mellom de to aggregerte komponentene er derimot en disaggregert modell på foretaksnivå (beslutningsenheten for valg av transportløsning), noe som brukes i optimeringsrutinene for valg av forsendelsestørrelser og transportkjeder, inklusivt valg av transportmiddel og transportenheter for hvert ledd i transportkjeden (de Jong m.fl. 2013).



Figur 3.1: ADA-strukturen i NGM. Kilde: de Jong m.fl. (2013).

Logistikkmodulen består av følgende tre trinn:

Trinn A: Disaggregering av PWC-varestrømmer mellom kommuner til varestrømmer mellom bedrifter for foretak på nivå P (produsent), W (grossist) og C (konsument, eller sluttbruker).

Trinn B: Modeller for logistikkbeslutninger på foretaksnivå, som for eksempel forsendelsesstørrelser, bruk av konsolidering, valg av transportmodi, transportenheter og lastbærere.

Trinn C: Aggregering til transportmiddelfordelte OD²⁹-strømmer, der OD avviker fra PWC dersom det brukes mer enn ett transportmiddel undervegs i transportkjeden.

3.13 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 nyttevirksomheter og skiller mellom transportbruker- og transportoperatørnytte, 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 referansescenario og ett eller flere alternativscenarier. Modellen er dokumentert av Caspersen m.fl. (2015), men er nylig oppdatert med siste anslag på marginale kostnader fra Rødseth m.fl. (2019).

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, det vil si som en inntekt for én sektor og som en utgift for en annen, og dermed faller bort i oppsummeringen.

²⁹ OD står for 'origin-destination', dvs. par av soner som godset eller personen kommer henholdsvis fra og til.

I GodsNytte beregnes også CO₂-utslippet basert på drivstofforbruk per km for hvert av de 10 hovedtransportmidlene i godsmodellen (lett lastebil, tung lastebil/trekkbil, modulvogn-tog, containerskip, andre skip, heltog, dieseltog, andre tog, ferger, fly), samt en forutsetning om gjennomsnittlig lastvekt for omregning til utslipp per tonnkm.

Drivstofforbruket er basert på estimater utarbeidet i forbindelse med nye verdier for eksterne kostnader (Rødseth m.fl. 2019). Datagrunnlaget for dette er for vegtransportens del Handbook of Emission Factors for Road Transport (HBEFA 2009). For sjøtransport er utslippsberegningene basert på bakgrunnsdata fra [Havbase](#)³⁰, fordelt på 8 dødvektstonn-kategorier og 14 skipstyper. Dette er vektet sammen til gjennomsnittsverdier for de to hovedfartøyskategoriene i NGM.

Karbonprisbanen som legges til grunn for skadekostnaden per mai 2020 er den samme som i Rødseth m.fl. (2019), som er basert på medianestimatene for en halvannengraders-prisbane fra IPCC (2018: avsnitt 2.5.2.1). Dette gir en karbonprisbane som angitt i Tabell 3.2.

Tabell 3.2: Karbonprisbane (2019-kr) for kalkulasjonspriser i GodsNytte-verktøyet. Hentet fra Rødseth m.fl. (2019).

	2019	2030	2050	2070	2100
Kr/tCO ₂ -ekv. (2019-priser)	508	2 159	7 998	12 067	34 455
Bakgrunn	CO ₂ -avgift	IPCC (2018)	IPCC (2018)	IPCC (2018)	IPCC (2018)

Som det framkommer, mangedobles karbonprisen fram til hvert av prognoseårene. Enda høyere eller lavere karbonprisbaner kan vurderes til følsomhetsanalyser.

Samferdselsdepartementet ventes om kort tid å fremme nye anbefalinger om kalkulasjonsprisen i transportmodellene for bruk i innværende NTP-arbeid. Det ligger an til en prisbane som samsvarer med de nasjonale klimamålene og anbefalingene fra Hoel m.fl. (2020).

3.14 Behov og muligheter for videreutvikling

Godstransport er på mange måter mer komplekst å modellere enn persontransport, fordi det er så stor heterogenitet både i varene som skal fraktes, og i transportmidlene som skal utføre oppdragene. Om en ser bort fra egentransport, er vareeiere i hovedsak opptatt av fraktrater, pålitelighet, skaderisiko og transporttider, og i mindre grad kostnadene for transportmidlene og terminaloperasjonene (Larsen 2014). Transporttilbudet er i så henseende i all hovedsak bestemt ut fra kommersielle hensyn. I NGM, på den annen side, legges det vekt på kostnader for hvert enkelt transportmiddel i valg av transportløsning, og i mindre grad markedstilpasning av fraktrater og transporttilbud. Prisene som vareeierne i realiteten betaler, vil dels være synlige i publiserte fraktrater og dels et resultat av forhandling og megling. Det er korrelasjon mellom de underliggende kostnadene for transportmidlene og fraktratene, men ikke nødvendigvis en direkte sammenheng.

³⁰ Havbase viser AIS-data (posisjonsmeldinger) for fartøy i 6 minutters intervaller. AIS står for Automatic Identification System. Kystverket drifter AIS Norge, som gir kontinuerlig oversikt over skipstrafikken langs norskekysten.

Dersom man studerer transportørenes offentlig tilgjengelige fraktrater, så er det en fallende sammenheng mellom kr/km og transportert lengde (Askildsen 2008). Transportmarkedet har også mange kjennetegn som minner om frikonkurranse: lave inngangsbarrierer, stort antall aktører, og graden av standardisering av tjenestene som omsettes, er relativt høy.

Generelt sett er det stordriftsfordeler når det gjelder transportmidler, slik at kostnaden per enhet kapasitet avtar med kapasiteten til transportmidlet/fartøyet. For vareeier er det også en avtakende sammenheng mellom enhetsprisen (kr/kg) og forsendelsens størrelse. Det er også elementer av stordriftsfordeler å spore ved at det synes som om fraktratene er lavere på relasjoner mellom de større byene (der totalvolumet er større) enn mellom mindre steder, selv om avstanden er den samme. For avsender, så vel som mottaker, krever utnyttelse av stordriftsfordeler at det er tilstrekkelig lagerkapasitet, noe som igjen øker kostnadene.

Fraktratene vil i all hovedsak være høyere enn transportørens marginalkostnader. Retningsubalanse i rutegående godstransport kan i tillegg gi seg utslag i differensierte fraktrater, slik at det er relativt sett billigere å transportere varer motstrøms enn medstrøms. Vareflyten medstrøms betaler dermed for en større andel av det totale rutetilbudet.

Dette er noen elementer som synliggjør kompleksiteten i modellering av godstransport.

Til arbeidet med framskrivingene er hele det nasjonale godsmodellsystemet svært relevant. Økonomiske størrelser fra Pingo benyttes til å regionalisere de makroøkonomiske utviklingsbanene fra Finansdepartementet etter en egen metodikk, som også tar inn over seg befolkningsframskrivinger. Godsmodellen benyttes til å beregne framtidig transport- og trafikkarbeid, gitt framskrivingene av varestrømsmatrisene, som gis ved hjelp av vekstbaner fra Pingo. Dermed vil både regionalisert næringsøkonomisk vekst og regionaliserte befolkningsframskrivinger være viktige drivere i de endelige framskrivingene for transport- og trafikkarbeid. For en mer detaljert presentasjon av modellverktøyet henvises det til Madslie m.fl. (2015).

En sammenlikning av modellens basisår (2016) mot transportstatistikken samme år framkommer av Tabell 3.3 (i tonn) og 3.4 (i tonnkm).

Tabell 3.3: Transportmiddelfordeling i millioner tonn fra modellen for 2016 og i statistikken for 2016.

	Bil	Sjø	Tog	Ferge	Fly	SUM
Innenlands						
Modell	287,4	45,2	10,9	0,0	0,0	343,5
Statistikk	281,7	52,8	9,6	0,0	0,0	344,1
Utenriks						
Eksport – modell	5,3	138,9	1,5	0,3	0,0	146,1
Import – modell	8,5	25,4	21,4	1,2	0,0	56,5
Utenriks i sum						
Modell	13,9	164,3	22,9	1,5	0,0	202,6
Statistikk	12,9	174,2	23,0	1,9	0,2	212,2

Tabell 3.4: Transportmiddelfordeling i millioner tonnkm på norsk område fra modellen og statistikken for 2016.

	Bil	Sjø	Tog	SUM
Innenlands				
Modell	19 653	23 383	3 780	46 815
Statistikk	19 676	24 166	3 695	47 537
Eksport+import				
Modell	2 678	96 099	1 143	99 920
Statistikk	2 351	95 789	1 364	99 504
Sum				
Modell	22 331	119 482	4 922	146 735
Statistikk	22 027	119 955	5 059	147 041

Det framkommer at modellen stemmer bra overens med statistikken for beregningsåret 2016 målt i tonn for bil og jernbane innenriks. Sjøtransport er noe underestimert målt i tonn, men har god overensstemmelse med transportarbeidet. Også for utenrikstransportene er det litt lite med skip målt i tonn, men målt i transportarbeid er det svært god overensstemmelse for alle transportformer, noe som også gjelder i sum for innen- og utenrikstransport.

3.14.1 Nye lav- og nullutslippsløsninger

Forutsetningen som brukes i dagens framskrivninger, om lik kostnadsutvikling for alle transportformer, er i beste fall mangelfull. For å nå målene om utslippsreduksjoner i årene som kommer, vil en måtte tvinge fram lav- og nullutslippsløsninger. Eksempler på dette er framdriftsløsninger basert på biodiesel, biogass, ladbar hybrid, batteri, hydrogen, samt elektrifisering av infrastruktur (elveger) med dynamisk lading.

I godsmodellsammenheng innebærer dette et behov for å utvikle teknologispesifikke kostnadsparametere. Noe utviklingsarbeid er alt gjort på dette i [MoZEES](#) (vegtransport) og i prosjektet [klimatiltak innen godstransport](#) (veg- og sjøtransport). Dette arbeidet kan implementeres i godsmodellen og muligens videreføres til kostnadsfunksjoner for ulike framdriftsteknologier i skip. Dette vil øke muligheten for å analysere hvordan ulike insentiver og tiltak påvirker bruken av disse teknologiene.

Det vil trolig være nærdistribusjonsaktører som først tar den nye teknologien i bruk. Det kan da bli behov for algoritmer eller nettverksbegrensninger som begrenser rekkevidden til elektriske biler i modellen. Utfordringen er hvordan en tar hensyn til rekkevidde når modellen ikke håndterer rundturer.

3.14.2 Autonomi

Autonomi kan gjelde både framføring (jernbane, sjø og veg) og terminaler, og vil med stor sannsynlighet medføre reduserte kostnader, fordi en viktig kostnadskomponent, knyttet til lønn for sjåfører og mannskap, reduseres eller bortfaller. Det er mest sannsynlig at autonomi kommer først på fysiske avgrensede områder som f.eks. terminalområder, noe som kan bidra til å gjøre sjø- og jernbaneløsninger mer lønnsomme versus vegtransport. F.eks. jobber Oslo havn med å gjøre containerterminalen klar for autonome kraner for lasting/lossing og stabling av containere. I Göteborg havn pågår et testprosjekt med autonome trekkvogner, i samarbeid med Volvo.

Terminaler

Nyere helautomatiserte terminalløsninger kan f.eks. modelleres som egne terminalklasser. Det må vurderes hvilke deler av terminaloperasjonen som kan gjøres autonom.

Platooning

Det er allerede gjort analyser med godsmodellen av platooning av lastebiler, dvs. at en kjede av lastebiler koples sammen ved hjelp av automatiserte styringssystemer, slik at 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. Dette kan med fordel implementeres på en bedre og mer realistisk måte.

Førerløse lastebiler

Også førerløse lastebiler er analysert i modellen og kan, som platooning, med fordel implementeres på en bedre måte.

Droner

Droner kan være så mangt, f.eks. flyvende droner som leverer små godsvolum, eller også små og selvkjørende lastebåter, som Birkelandprosjektet til Yara i Porsgrunn og Askos planlagte skip over Oslofjorden. [Rolls-Royce lanserte et droneskip allerede i 2014](#). I modellen må droner eventuelt implementeres som egne transportmidler med egne nettverk.

3.14.3 Prismekanismer i NGM

I NGM legges kostnader til grunn, og kjøretøykostnadene fordeles på den lasten som beregnes på transportenheten. For eksempel vil en sjøstrekning med lav utnyttelse få relativt sett høyere kostnader per tonnkilometer enn en strekning med høy utnyttelse. I praksis vil prisingen gjerne avvike fra dette, ved at strekninger med lav utnyttelse prises lavere, mens prisen settes opp på strekninger med høy utnyttelse (lav pris for returlast). Det bør vurderes nærmere hvordan prissettingen skjer for ulike transporttyper, spesielt mellom strekninger med ulik etterspørsel og utnyttelse, og om det er mulig å implementere løsninger som eventuelt ligger nærmere opp til den prispolitikken som praktiseres.

3.14.4 Transportkjøpers servicekrav i NGM

I dag implementeres i liten grad servicekrav i NGM. For fersk fisk er det lagt inn absolutte begrensninger på maksimal transporttid, videre er det for enkelte varegrupper lagt inn høyere degraderingskostnader for å reflektere tidskrav til godset.

Servicekrav til transport kan være av forskjellig art. Maksimal transporttid, frekvenskrav og krav til leveranser innenfor definerte tidsvinduer er blant de mest vanlige. Det kan med fordel kartlegges hva som er fremtredende servicekrav for ulike varegrupper/bransjer og vurderes om dette i modellen kan representeres ved ulike kostnadselementer, absolutte tidskrav eller på annen måte, slik at en eventuelt kan implementere de nødvendige endringene.

3.14.5 Urbanisering – mer detaljert soneinndeling i byene

Med økt urbanisering øker også arealknappheten i byene, og det er viktige utfordringer og behov som må løses:

- Godstransport er nødvendig for effektiv varelevering i byene
- Det er konflikter mellom ulike trafikantgrupper og press på arealbruk i byene
- Byene er best tilrettelagt for innfasing av nullutslippsløsninger på kort sikt

Urbane godsmodeller er et komplisert område, og datatilgangen gir kanskje de største begrensningene. Det er likevel noen områder hvor modellen kan forbedres, basert på dagens data og informasjonsgrunnlag.

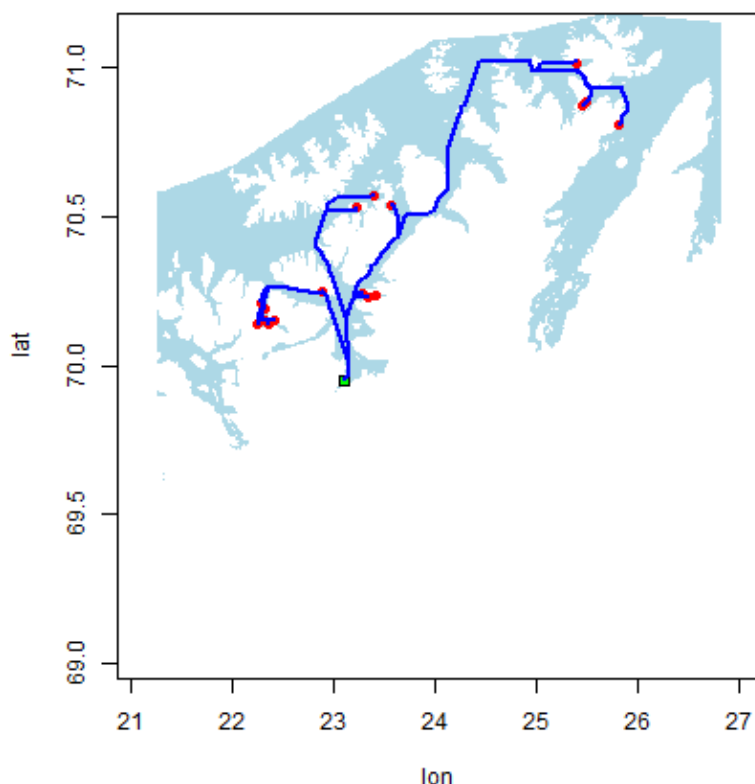
Varestrømsmatriser

Da dagens varestrømsmatriser ble etablert, ble det tilrettelagt for matriser med delområder (aggregater av grunnkretser) som soner. Dette arbeidet er ikke helt fullført, men bør kunne bli det med forholdsvis liten innsats. I tillegg bør en oppdatere den delen av datagrunnlaget som er basert på SSBs lastebilundersøkelse, da man nå har tre årganger tilgjengelig med informasjon om fra- og til-sted på postnummernivå.

Det er antakelig ikke hensiktsmessig å implementere økt detaljeringsgrad for sonene i hele landet, men man kan f.eks. utvide soneinndelingen for de største byene. For Oslos del kan en se nærmere på delområdesonene, da strukturen er veldig grov for Groruddalen, der de fleste logistikklokasjoner er. Kanskje vil en trenge en ytterligere detaljering der, utover delområde.

Vegnett og sonetilknytting

For å ta i bruk matriser med mer detaljert soneinndeling er det behov for tilsvarende detaljering i modellens vegnett. I første rekke gjelder dette å plassere inn delområdesonene og etablere en sonetilknytning inn i vegnettet. Plasseringen av delområdene med tilhørende tilknytning til vegnettet kan enten hentes fra NTM6-modellen eller man kan gjøre en manuell jobb basert på lokal kunnskap om tyngdepunkt for gods- og næringsvirksomhet. Vegnettet er trolig detaljert nok slik det er (siden det er samme vegnett som benyttes i NTM6), men det kan muligens være behov for å kode inn noen flere veger, dersom den manuelle varianten av soneplassering velges.



Figur 3.2: Illustrasjon av distanseberegning til sjøs i R/Q-Gis basert på minste distanse og restriksjoner på dybdeforhold.

Havneavsnitt

Med mer detaljert soneinndeling i byene blir det behov for å gjennomgå havneavsnittene og hvor disse er lokalisert i byene. Man kan f.eks. benytte [Kystinfo](#) som et utgangspunkt, med GPS-koordinater for havneavsnittene. Videre kan man benytte tilsvarende metodikk som vist i Figur 3.2 til å etablere sjønettverk til de nye havneavsnittene. Figuren illustrerer en algoritme brukt i [R/Q-Gis](#), der minste distanse til sjøs beregnes mellom to punkter, men hvor man kan ta hensyn til at det ikke kan kjøres over land og/eller at det kreves en minstedybde.

3.14.6 Internalisering av eksternaliteter

Det er stor sannsynlighet for at det framover vil være ønskelig med analyse/beregninger av ulike konsepter for brukerbetaling i vegnettet (ulike former for vegprising). I persontransportmodellene er det gjort enkle beregninger for dette i form av faste kilometerpriser i gitte områder i henholdsvis rush- og lavtrafikk. På sikt vil det også være interessant å skille mellom ulike biltyper, f.eks. med ulike kostnader for ulike godsbilstørrelser og/eller teknologier. Metodikk for dette kan derfor med fordel implementeres i modellen. Tilsvarende kan også være aktuelt for kjørevegsavgift for jernbane.

3.14.7 Robusthet mot ekstremvær

Klimaendringene vil i årene som kommer, med stor sannsynlighet medføre økt ekstremvær.

Effekt av værrisiko 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 framførings-tid som en vektning 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.

3.14.8 Nye data

I [forskningsprosjektet LIMCO](#) ('Logistics, environment and costs') samles det for tiden inn data fra ca. 1500 lastebiler, både GPS-data og motorytelsesdata. Dette er data som antakelig også kan utnyttes for modellering, enten det gjelder bedre modeller for byområder, mer forankret informasjon om drivstofforbruk eller vegvalgsproblematikk.

3.14.9 Integrering av transport- og energimodeller

Sintef har utviklet en energimodell som kan brukes til å beregne energiforbruk fra gods-transporten, basert på resultatfiler fra godsmodellen. Det bør vurderes om dette er noe som kan integreres i CUBE-grensesnittet til godsmodellen, slik at man på en enkel måte kan få fram energibruken i ulike scenarier. Til nå har nettverks- og resultatfiler blitt sendt til Sintef, som så har gjort energiberegningen. En kan også vurdere om nytteberegningsverktøyet bør justeres, slik at utslipp og eksterne kostnader beregnes basert på informasjon fra energimodellen.

Motorytelsesdataene fra LIMCO i kombinasjon med GPS-dataene kan kanskje også benyttes til å verifisere Sintefs energimodell for tungtransport.

4 Kjøretøymodellen BIG

4.1 Motivasjon

De langsiktige endringene i kjøretøybestandens sammensetning og miljøegenskaper oppstår først og fremst ved at de nye bilene som anskaffes, skiller seg fra de eldre som utrangeres. Det er primært ved å påvirke anskaffelsen av nye kjøretøy at myndighetene kan frambringe endringer i vegtransportens energibruk, klimafotavtrykk og lokale miljøpåvirkninger.

Men disse endringene tar tid. Gjennomsnittlig levetid for en norskregistrert personbil er ca. 17 år. For å kunne studere og analysere den langsiktige utviklingen i kjøretøyparken har TØI utviklet bilgenerasjonsmodellen BIG³¹. Modellen omfatter praktisk talt alle typer kjøretøy med minst fire hjul og beregner hvordan endringer i salget av nye kjøretøy på lang sikt slår ut i kjøretøybestand, trafikkarbeid (kjøretøykm), godstransportarbeid (tonnkm), energiforbruk (kWh) og avgassutslipp av CO₂, partikler (PM₁₀), NO_x og SO₂.

4.2 Strømmer og beholdninger

Modellen framskriver kjøretøybestanden ved hjelp av Markov-kjedeprinsippet. Det vil si at bestanden i år n følger av bestanden i år $n-1$, modifisert av et sett endringsrater (tilgangs-/avgangsrater), som angir strømmer av kjøretøy inn til og ut av hvert segment og hver aldersklasse. Segmentene er for hver kjøretøyklasse definert gjennom en kryssgruppering mellom vekt og energiteknologi (drivlinje). Modellen er programmert som et sett Excel regneark.

Til hver av cellene i bestandsmatrisen er det tilordnet kjennetegn av økonomisk eller energi- og miljøpolitisk interesse, så som årlig kjørelengde, lastekapasitet, spesifikt energiforbruk, CO₂-, PM₁₀-, NO_x og SO₂-utslipp per km, osv. Ved å summere gjennom hele matrisen kan en få fram det samlede trafikkarbeidet, utslippet, energiforbruket osv. i et enkelt år.

Modellsystemet BIG er først og fremst et regnskapssystem for kjøretøyparken, som knytter forbindelsen mellom (i) *beholdningen* (bestanden) av kjøretøy ved utløpet av hvert enkelt år og (ii) de ulike *strømmene* inn til og ut av bestanden hvert år. Disse strømmene består av nybilsalg, bruktimport, brukteksport, vraking og annen avregistrering.

Den mest avgjørende eksogene input til modellen er tilgangen på nye kjøretøy hvert år. Sammensetningen av nybilsalg bestemmer i hvilken retning kjøretøyparken skal utvikle seg. Dette gjelder for personbiler så vel som for varebiler, lastebiler, trekkbiler, bobiler og busser.

I motsatt ende av kjøretøyenes livsløp på norske veger spiller det også en viss rolle hvor raskt bilene vrakes eller eksporteres. Men dette mønsteret er nokså stabilt. Modellen

³¹ Fridstrøm & Østli (2016, 2017), Østli m.fl. (2017), Fridstrøm m.fl. (2016), Fridstrøm (2017a, 2019a).

forutsetter, som default, at de aldersspesifikke avgangsratene innenfor hvert kjøretøysegment holder seg konstante gjennom framskrivingsperioden.

4.3 Framskrivingsmodulen

Godsbiler, busser og personbiler er hver for seg kryssgruppert i segmenter og ettårige aldersklasser. Uttrekk fra motorvognregistret (Autosys) gir bestandsdata for 2010-2018.

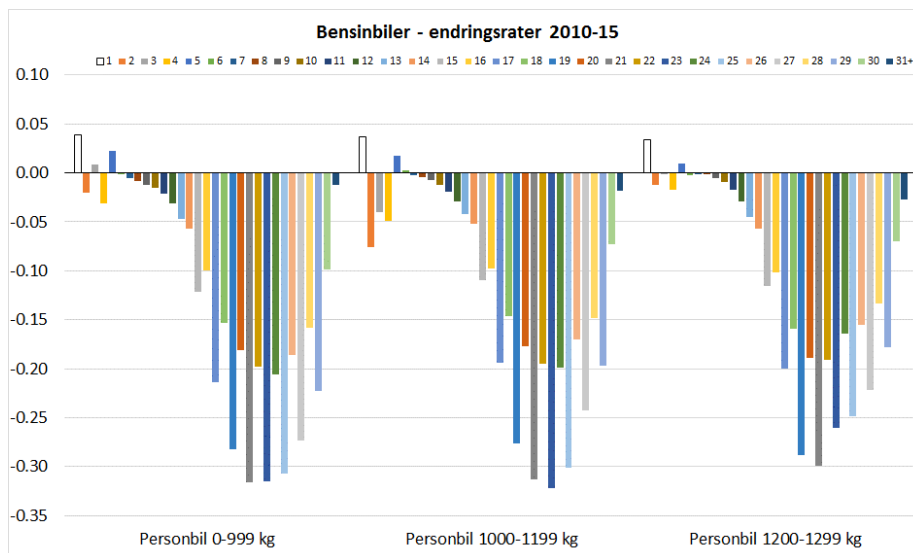
Godsbilsegmentene er i seg selv en kryssgruppering mellom 11 typer drivstoff/energibærer og 9 vektklasser – i alt 99 segment. Godsbilene er inndelt etter høyeste tillatte vogntogvekt. Letteste godsbilsegment er varebilene, dvs. godsbiler med høyst 3,5 tonn tillatt totalvekt. Modellen skiller dessuten mellom lastebiler og trekkbiler for semitrailer – med fellesbetegnelsen ‘tunge godsbiler’. Med 31 aldersklasser består godsbilbestanden det enkelte år av $99 \times 2 \times 31 = 6138$ gjensidig utelukkende celler.

Personbilene er inndelt i de samme 11 drivstofftyper og i 9 vektklasser, dvs. i 99 segment. Personbilene er inndelt etter egenvekt, dvs. vekten av selve bilen pluss 75 kg fører. Personbilbestanden hvert år består av $99 \times 31 = 3069$ celler.

Bussene er inndelt etter tillatt totalvekt (4 klasser) og 11 drivstofftyper, dvs. 44 segment og $44 \times 31 = 1364$ celler.

I tillegg framskrives bestandene av bobiler og kombinerte biler ($2 \times 11 \times 31 = 682$ celler).

Noen eksempler på netto endringsrater er vist i Fig. 4.1. Det framgår at for personbiler eldre enn 14 år er avgangen markert større i år med periodisk kjøretøykontroll – denne finner sted i bilens 5., 7., 9. osv. leveår, slik kjøretøyets alder er definert i BIG-modellen.³²



Figur 4.1: Endringsrater for bensindrevne personbiler under 1300 kg egenvekt, i 31 aldersklasser. Gjennomsnitt for perioden 2010-2015.

³² De hvite stolpene til venstre i hver stolpegruppe i Fig. 4.1 er ikke helt sammenliknbare med de øvrige, siden ‘endringsraten’ for nye kjøretøy (aldersklasse 1) som default regnes som andel av *samlet* bestand pr. 31.12. forrige år i vedkommende segment, mens de øvrige ratene er regnet i forhold til *én bestemt aldersklasse* av samme segment.

‘Endringsraten’ for nye biler er alltid positiv. ‘Nybilsalget’ består ikke bare av nye biler registrert i Norge, men også av bruktimport av biler som er førstegangsregistrert *samme år* i utlandet.

Aldersklasse 2 til 31+ beregnes i siste BIG-versjon (5.2) ved å anta samme gjennomsnittlige endringsrater som observert 2012-2017. Disse endringsratene er med få unntak negative, dvs. at vraking, eksport og annen avregistrering til sammen overstiger bruktimporten.

Endringsratene beregnes på grunnlag av bestandsdata fra motorvognregistret (Autosys). Et fullstendig sett med endringsrater har en kunnet beregne bare for de kjøretøysegmentene som er godt representert i bestandene 2012 til 2017, med alle aldersklasser. For personbiler gjelder det stort sett bare bensin- og dieslbiler, og for busser og godsbiler kun dieseldrevne kjøretøy. For de øvrige kjøretøysegmentene, så som elbiler, hybridbiler og hydrogenbiler, har en, der en mangler data fra Autosys, i modellen lagt til grunn samme endringsrater som for bensin- eller dieslbiler, med noen modifikasjoner.

Endringsratene kan bearbeides videre til overlevelseskurver, som viser hvor lenge de enkelte typene kjøretøy *beholder norske skilt*. To slike diagrammer er vist i Fig. 4.2 og 4.3. Overlevelsesratene bestemmer hvor raskt kjøretøyparken utskiftes – et vesentlig poeng i samband med overgang til ny og mer klimavennlig teknologi.

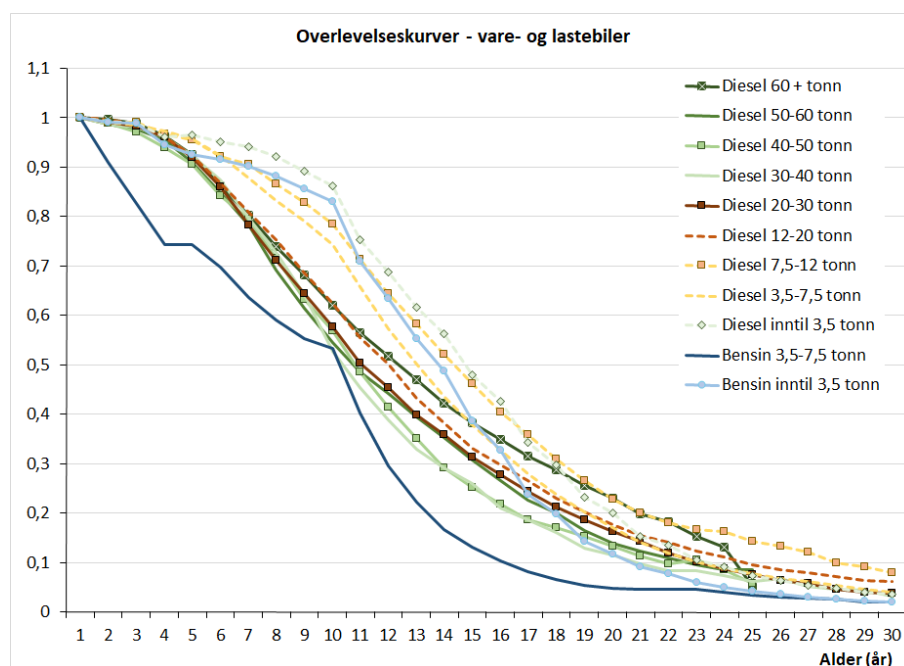


Fig. 4.2: Overlevelseskurver for vare- og lastebiler, etter høyeste tillatte totalvekt. Kilde: BIG-modellen, basert på uttrekk fra motorvognregistret 2012-2017.

Vi ser at minst halvparten av lastebilene overlever til sitt 11. år. Blant trekkbilene for semi-trailer, derimot, er median overlevelse på norske skilt i de fleste vektclasser bare 6 til 8 år. Det skyldes at bilene blir solgt til utlandet, snarere enn at de blir vraket.

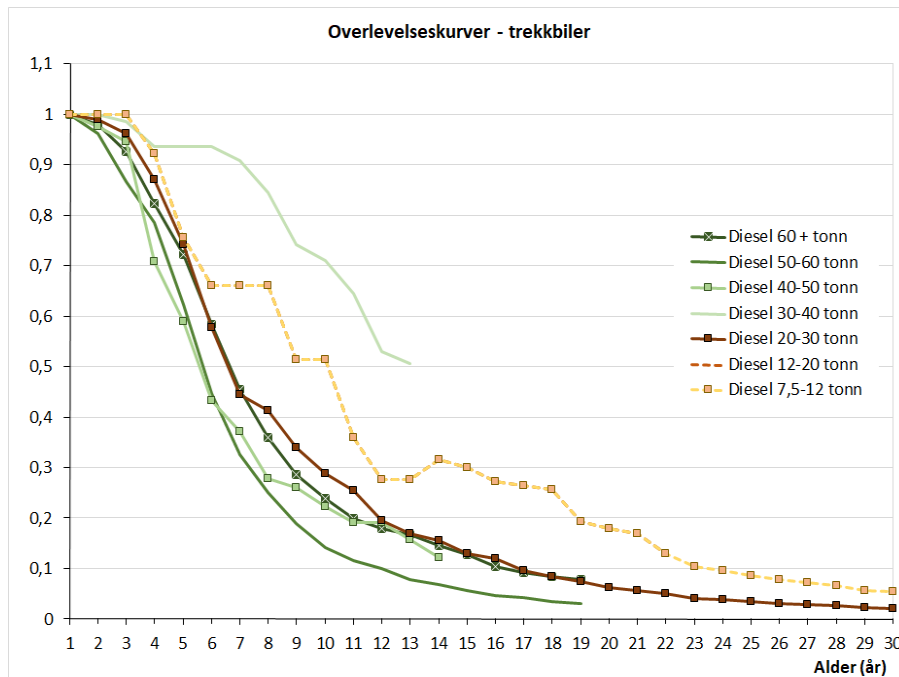
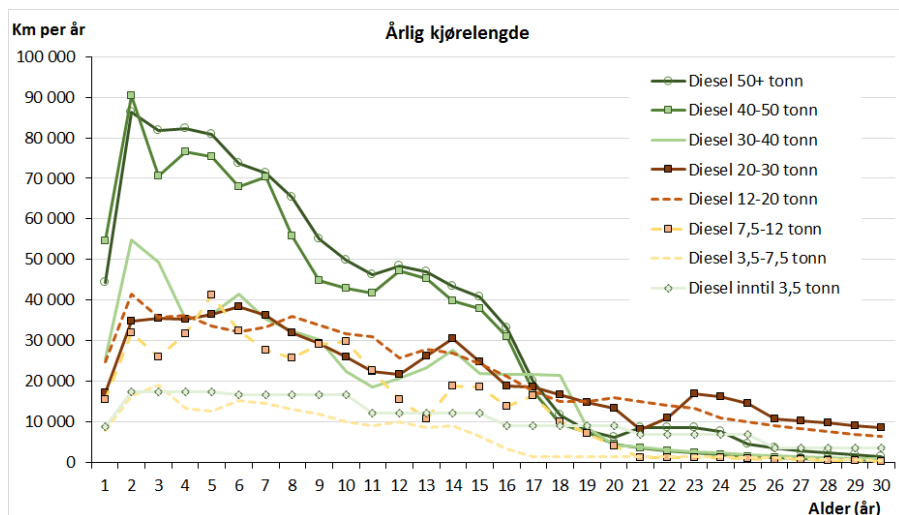


Fig. 4.3: Overlevelseskurver for trekkbiler over 7,5 tonn, etter vogntoget høyeste tillatte totalvekt. Kilde: BIG-modellen, basert på uttrekk fra motorvognregistret 2012-2017.

Kjøretøyenes årlige kjørelengder anslås i BIG vha. data fra periodisk kjøretøykontroll (PKK) og Lastebilundersøkelsen (LBU). Utkjørt distanse synker med kjøretøyets alder, men stiger med kjøretøyets vekt (Fig. 4.4).



Figur 4.4: Beregnet gjennomsnittlig årlig utkjørt distanse for dieseldrevne vare- og lastebiler, etter høyeste tillatte vogntogvekt og bilens alder, regnet fra 1.1. i registreringsåret til utløpet av inneværende år. Kilde: LBU.

Siden nye kjøretøy i gjennomsnitt blir registrert omtrent midt i året, vil utkjørt distanse i løpet av første kalenderår være bare halvparten av en normal kjørelengde. Dette er tatt hensyn til i modellen og i Fig. 4.4.

Nyttelast for godsbiler er i BIG beregnet med utgangspunkt i data fra Autosys og Lastebilundersøkelsen. Gjennom å kombinere disse to kildene kan vi gi omtrentlige tall for vogn- og togens faktiske vektfordeling. Kapasitetsutnyttning for godsbiler beregnes også basert på

LBU. Det er i modellen forutsatt at elektriske og hybridiserte kjøretøy, for gitt totalvekt, har noe lavere lastekapasitet enn dieseldrevne.

Godsbilenes spesifikke drivstofforbruk per 2015 er grovt anslått vha. HBEFA-modellen (HBEFA 2009). For busser er det gjort skjønnsmessige anslag.

For personbiler er drivstofforbruket basert på nøyaktige data om nye bilmodellers typegodkjente utslipp 1992-2016, korrigert for avvik mellom virkelig og laboratoriemålt utslipp. Drivstofforbruket for hvert årskull av personbiler korrigeres ved hjelp av avvikstall på EU-nivå som publiseres hvert år av International Council on Clean Transportation ([ICCT](#), se Tietge m.fl. 2019). Dette avviket har steget fra ca. 8 prosent i 2001 til 38-40 prosent i 2015-2017. Beregnet CO₂-utslipp i makro stemmer temmelig godt med klimagassregnskapets tall for CO₂-utslipp i vegtrafikk, men BIG tenderer til å tilskrive personbilene en større andel enn i det offisielle klimagassregnskapet (Fridstrøm 2017c). Muligens skyldes det at marsjfarten på norske hovedveger er vesentlig lavere og mer energieffektiv enn generelt i EU. Dermed kan en korreksjon som passer for EU, være i største laget for Norge. En annen mulighet er at det offisielle klimagassregnskapet ikke fullt og helt tar høyde for det store avviket mellom laboratoriemålte og virkelige utslipp – nesten 40 prosent for nye personbiler solgt i EU i 2015–17, [ifølge ICCT](#).

4.4 Bilkjøpsmodulen

Til støtte for inputen av nye personbiler i framskrivingsmodulen er det estimert en hierarkisk logit-modell (*'bilkjøpsmodulen'*) for bilkjøpernes valg mellom de ca. 2000 modellvariantene som er tilgjengelige i markedet i løpet av et enkelt år.

Bilkjøpsmodulen ble først estimert på data fra perioden 1996-2011 (Østli m.fl. 2017). Den er senere reestimert på data fra 2002-2016 (Fridstrøm & Østli 2018b). Det arbeides med en reestimering basert på data til og med mai 2019.

Bilkjøpsmodulen er sensitiv for endringer i engangsavgiften og drivstoffavgiftene og kan brukes til å beregne virkningen av endringer i disse avgiftene. Den danner således bindeledd mellom avgiftspolitikken og utviklingen av personbilverket. Modellen har blant annet vært brukt til å beregne klimaeffektene av statsbudsjettet³³.

Bilkjøpsmodulen inneholder listepreis- og avgiftsdata for alle modellvarianter og kan beregne så vel etterspørselskurver som direkte- og krysspriselasiteter. Samlet avgiftsproveny framkommer også. I prinsippet vil det være mulig å beregne endringer i bilkjøpernes konsumentoverskudd, slik at en f.eks. kan få fram den samfunnsøkonomiske kostnaden ved avgiftsfritakene for elbiler. Men noen slik beregning er foreløpig ikke gjort. Mer generelt er modellen velegnet til å sammenlikne ulike bilavgiftsregimer. En sammenlikning er allerede gjort mellom det danske, det svenske og det norske avgiftssystemet (Østli m.fl. 2020).

4.5 Historikk

En BIG-versjon begrenset til personbiler ble ferdigstilt i forbindelse med [TEMPO-prosjektet](#) om klimavennlig transport (Fridstrøm & Alfsen 2014). Den ble der anvendt til å beregne de langsiktige virkningene av endringer i engangsavgiften. I et prosjekt for

³³ Fridstrøm (2016, 2017b), Fridstrøm & Østli (2018a).

Miljøverndepartementet ble modellen anvendt til å anslå effekten av midlertidig økt vrakpant (Fridstrøm m.fl. 2013). I et prosjekt for Norsk Elbilforening ble modellen brukt til å studere de skatte- og ressursøkonomiske sidene ved elbilsatsingen i Norge (Fridstrøm & Østli 2014). I et prosjekt for det svensk-norske forskningsprogrammet BISEK ble modellen brukt til å belyse utslipps- og fordelingseffektene av endringer i engangsavgiften på personbiler (Steinsland m.fl. 2016).

Sommeren og høsten 2016 ble BIG-modellverktøyet videreutviklet og utvidet slik at det, i tillegg til personbiler, også framskriver bestanden av busser, varebiler, lastebiler, trekkbiler, bobiler og kombinerte biler – etter alder/modellår, energiteknologi og egenvekt eller maksimalt tillatt totalvekt for kjøretøy/vogntog.

BIG-modellen og dens mulige anvendelser er beskrevet i sju vitenskapelige arbeider, hvorav fem er publisert³⁴.

4.6 Dynamikk

Kjøretøyparken er en treg masse. Det vil, selv under de mest optimistiske forutsetninger, ta tid før ny, utslippsfri teknologi har fått et slikt innpass i kjøretøyparken at det monner i klimagassregnskapet. Hvor raskt vi makter å innfase nullutslippsteknologi i vegtrafikken er avgjørende for om vi kan nå klimamålene i samferdselen.

Hovedpoenget med framskrivingsdelen av BIG-modellen er at den holder rede på dette på en systematisk og tilnærmet heldekkende måte, ved å knytte forbindelsen mellom *beholdningen* (bestanden) av kjøretøy ved utløpet av hvert enkelt år og de ulike *strømmene* inn til og ut av bestanden hvert år. Modellen opererer kun med *nettostrømmer*, dvs. at bestandsendringene fra ett år til det neste har tolkning som antall nye kjøretøy pluss bruktimport minus summen av brukteksport, vraking og annen avregistrering. I de yngre årsklassene vil normalt bruktimporten være den største komponenten, slik at endringsraten er positiv. For eldre personbiler er vraking den dominerende *bruttostrømmen*. For tunge godsbiler er brukteksport en viktig komponent. Både vraking og brukteksport innebærer negative endringsrater. Brukteksporten bidrar til at innfasingen av ny teknologi i Norge kan gå forholdsvis raskt.

Modellen er satt opp til å regne år for år fram til 2075, men i praksis bruker en ikke lengre tidshorisont enn 2050. Da er en allerede to kjøretøygenerasjoner inn i framtida. Lengre framskrivinger enn dette vurderes som for spekulativt.

I BIG-modellen står brukeren nokså fritt til å legge inn større innslag av ny teknologi – riktignok ikke enhver tenkelig teknologi, men en eller flere av de 'alternative' drivlinjer som har fått plass i kjøretøymatrisen. Mest aktuelt er batteri- eller hydrogenelektrisk drift, ladbare eller ikke-ladbare hybrider, eller biogass. Det finnes dessuten en restkategori ('annet') som eventuelt kan reserveres for nye framdriftsløsninger, og om nødvendig kan den nesten tomme gruppen 'parafin' omdefinieres. Bruk av biodrivstoff i bensin- eller

³⁴ Fridstrøm m.fl. (2016) presenterer en modellversjon begrenset til personbiler. Fridstrøm og Østli (2017) bruker modellen til å karakterisere engangsavgiften som klimapolitisk virkemiddel. Østli m.fl. (2017) presenterer bilkjøpsmodulen. Fridstrøm (2017a) viser hvordan modellen kan brukes til å anslå tidsforsinkelsen i overgangen til ny teknologi, dvs. hvor lang tid det tar før innovasjoner i markedet for nye kjøretøy gir tilsvarende endringer i bestanden. Fridstrøm & Østli (2018a, 2020) bruker modellen til å beregne direkte- og krysspriselasiteter for personbiler med ulike typer drivlinje, samt til å anslå effektene av endringer i avgiftssatsene. Østli et al. (2020) bruker modellen til å anslå og sammenlikne etterspørsels-, klima- og provenyeffektene av bilavgiftssystemene i Danmark, Norge og Sverige.

dieselmotorer krever ingen endring i modellen; det er den samme motorteknologien som om kjøretøyene går på fossilt drivstoff. Alt i alt er BIGs framskrivingsmodul godt rustet til å ta høyde for innovasjon på kjøretøyområdet. Men for nye framdriftsteknologier vil en typisk mangle empiriske data om avgangsrater (overlevelseshaster); her må en improvisere og f.eks. kopiere inn avgangsratene for dieselskjøretøy, eventuelt med en passende justering.

Når det gjelder personbiler, må den nye teknologien få en viss utbredelse før en kan beregne etterspørselen ved hjelp av bilkjøpsmodulen. Eksempelvis har salget av hydrogenbiler hittil vært for lite til at de har kunnet tas med i den økonometriske analysen.

Siden bilkjøpsmodulen er generisk, er det i prinsippet mulig å anslå etterspørselen etter hypotetiske nye varianter av dagens elbiler med en antatt betydelig lengre rekkevidde. Men det forutsetter at prisen er kjent, på linje med bilens øvrige egenskaper.

4.7 Atferdsforutsetninger

En svært viktig forenkling en har gjort i BIG-modellen, er å se bort fra alle persondata. Modellen 'vet' ingenting om kjøretøyenes eiere eller kjøpere – ikke engang deres bostedsfylke. Det innebærer blant annet at endringer i bileiernes forhold ikke kan analyseres, heller ikke kontekstuelle variable tilknyttet regionen eller lokalsamfunnet. På plussiden må nevnes at modellen ikke trenger noen input om personers forhold for å predikere markedsandelene, verken disaggregerte data om eierne/kjøperne eller makroøkonomiske størrelser.

Selv om kjøperne er fraværende i modellen, er tilgangen og avgangen av kjøretøy likevel å forstå som resultat av menneskelige beslutninger, fattet av bilenes kjøpere, selgere, eiere og brukere. Myndighetene påvirker beslutningene gjennom skattlegging, subsidiering, regulering, investeringer og offentlige innkjøp.

Framskrivingsdelen av BIG er i utgangspunktet et forholdsvis mekanisk rammeverk, der kjøretøybestandene ruller framover og produserer tjenester og utslipp i samsvar med erfaringsbaserte tilgangs- og avgangsrater, kjørelengder og energiforbruksrater. Implisitt i disse faste ratene ligger en forutsetning om uendret atferd *på cellenivå i bestandsmatrisen*. I noen tilfeller er nivået gitt for en bestemt *aldersgruppe* av kjøretøy i en bestemt kategori. I andre tilfeller er atferden forutsatt konstant for den enkelte *kohort* (årskull) av kjøretøy. Eksempelvis er drivstofforbruket for et bestemt kjøretøy forutsatt uendret gjennom hele kjøretøyets levetid – forbruket er *kohortspesifikt*. Med kjørelengdene forholder det seg motsatt – disse er *aldersspesifikke*. Jo eldre kjøretøyet blir, desto mindre brukes det.

Bilkjøpsmodulen av BIG er den eneste delen med substansielt økonomisk-teoretisk innhold. Bilkjøperne antas å velge den modellvarianten som gir størst nytte. Men modellen har som nevnt ingen opplysninger om personene eller foretakene som kjøper bil. Således inneholder nyttefunksjonene kun kjennetegn ved *bilene*. Modellen er generisk, dvs. at ingen koeffisienter er knyttet til bestemte bilmodeller. I prinsippet kan modellen derfor predikere markedsandelen for en bilmodell som ennå ikke er kommet på markedet, så sant de relevante kjennetegn ved bilen er kjent: listepriis, engangsavgift, moms, drivlinje, energiforbruk, elektrisk rekkevidde, girkasse, størrelse, karosseritype, bilmerke, antall dører, samt for-, bak- eller firehjulsdrift. Ifølge bilkjøpsmodulen tar norske bilkjøpere fullt og helt hensyn til framtidige energikostnader når de velger bil; det er ingen tegn til at bilkjøperne er 'nærskylte' og overser eller nedtoner framtidige utgifter (Fridstrøm & Østli 2020).

Alle bilmodeller konkurrerer i bilkjøpsmodulen med hverandre, uten vanntette skott noe sted. Men fordi bilfabrikantene gjerne markedsfører mange nokså like varianter av samme bilmodell, er krysspriselastisitetene større innenfor et bestemt bilmerke enn på tvers av

ulike bilmerker. Priselastisitetene er også på avgjørende måte avhengig av aggregeringsnivået. Dersom bare én bilmodellvariant får endret pris, er utslaget i denne modellvariantens markedsandel mye større enn dersom prisendringen gjelder en større gruppe biler, f.eks. alle biler av samme merke eller med samme type drivlinje (Fridstrøm m.fl. 2016).

4.8 Output

BIG-systemet framskriver kjøretøybestanden, trafikkarbeidet, godstransportarbeidet, energiforbruket, CO₂-, NO_x-, SO₂- og PM₁₀-utslippet, alt i prinsippet fordelt på 6 kjøretøyklasser, 11 energiteknologier, inntil 9 vektclasser og 31 aldersklasser – en matrise med i alt 11 253 celler.

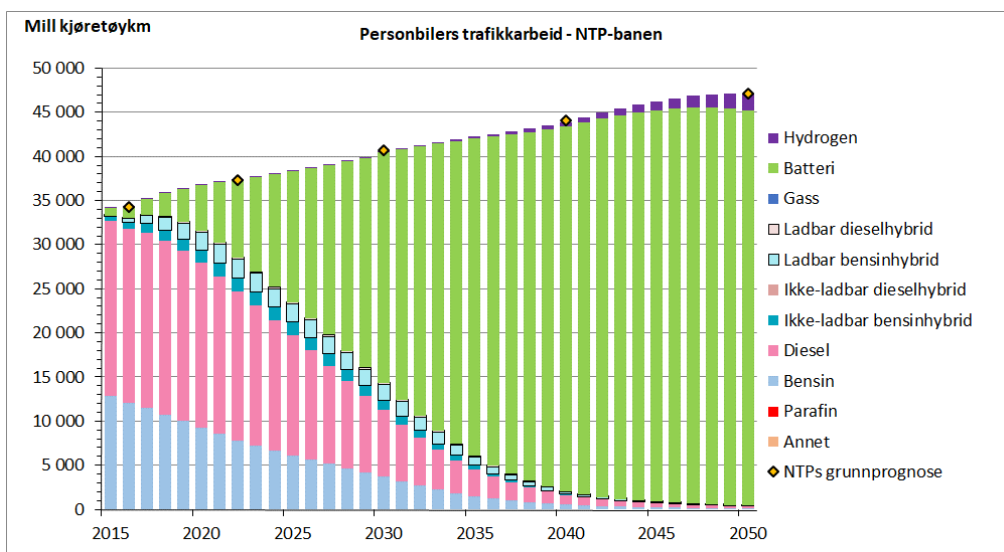


Fig. 4.5: Framskrevet trafikkarbeid med personbil 2015-2050, etter energiteknologi. NTP-banen sammenholdt med grunnprognosen for NTP 2018-2029 (Madslie m.fl. 2017). Kilde: Fridstrøm (2019a).

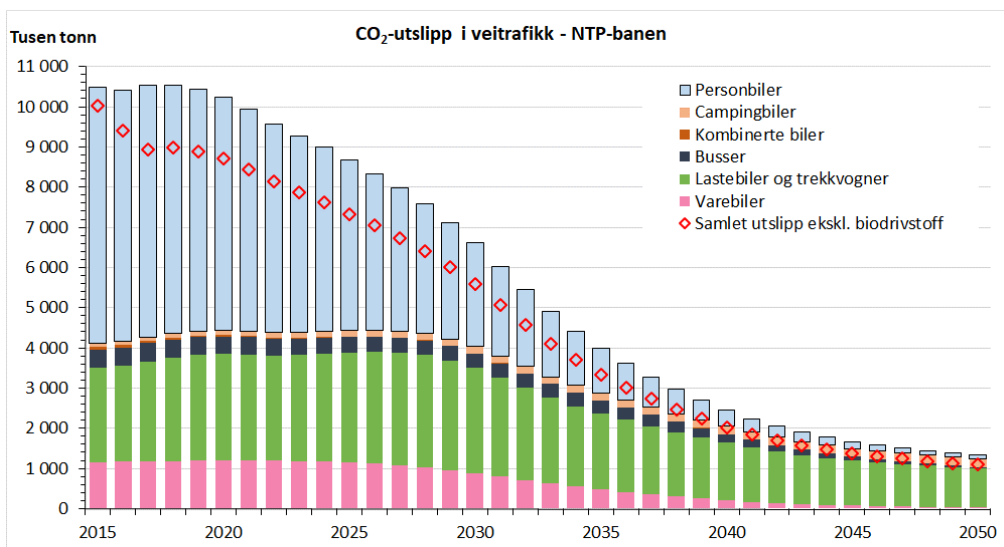


Fig. 4.6: CO₂-utslipp i vegtrafikk 2015-2050 før og etter fradrag for biodrivstoff (16 prosent f.o.m. 2018). Framskriving i tråd med Nasjonal transportplan 2018-2029 (NTP). Kilde: Fridstrøm (2019a).

Resultatet i den enkelte celle er usikkert og kan ikke tillegges vekt. Men et minimum av aggregering vil utjevne de fleste tilfeldige feil.

To eksempler på output fra en og samme framskriving er vist i Fig. 4.5 og 4.6. I denne framskrivingen er tilgangen på nye kjøretøy regulert slik at kjøretøyparken med uendret kapasitetsutnyttning stemmer med NTPs 'grunnprognose' for vekst i godstransportarbeidet og i personbiltrafikken.

4.9 Forbedringspunkter

Den uten sammenlikning største svakheten ved BIG-modellen er at den er personavhengig. Det er kun to personer ved TØI som hver for seg kan operere henholdsvis framskrivingsmodulen og bilkjøpsmodulen. Det er behov for å dokumentere modellen og forenkle brukergrensesnittet, slik at modellen kan bli mer allment tilgjengelig.

I denne forbindelse ville det også være ønskelig å automatisere og parameterstyre inputen. Per i dag må modellbrukeren manuelt angi tilgangen på nye kjøretøy hvert år, etter kjøretøyklasse, vekt og drivlinje. Det er således arbeidskrevende å utarbeide et nytt scenario.

Modellen er i utgangspunktet ikke samordnet med verken RTM, NTM6 eller NGM. En har imidlertid, i alle anvendelser hittil, på aggregert nivå lagt vekt på et visst samsvar mellom BIG og NTPs grunnprognose, som i sin tur er beregnet ved hjelp av RTM, NTM6 og NGM. Det gjøres ved at en i BIG regulerer tilgangen på nye kjøretøy, slik at BIG-framskrivingen med uendret kapasitetsutnyttning stemmer omtrentlig med veksten i antall personbilkilometer, busspassasjerkilometer og godstonnkilometer ifølge NTP. Ved å gjøre dette i alle framskrivingsalternativ sikrer en seg at de kan sammenliknes 'på like vilkår', dvs. at alle BIG-framskrivninger betjener vegtransportetterspørselen i samme grad.

BIG framskriver kjøretøybestanden i makro fordelt på drivlinje (energiteknologi). Men det er ingen kopling mellom f.eks. elbilandelen ifølge BIG og den tilsvarende andelen på nasjonalt nivå ifølge RTM/NTM6. BIG har ingen regional oppdeling. Det er mulig å se for seg ulike måter å styrke samsvaret mellom kjøretøy- og reiseetterspørselsmodellene på.

Bilkjøpsmodulen beregner markedsandelene på modellvariantnivå eller et hvilket som helst større aggregat. Men det samlede kjøpet av nye personbiler bestemmes ikke i noen modell. Det er ønskelig å supplere bilkjøpsmodulen med en økonometrisk modell for samlet etterspørsel etter personbiler. En slik modell vil kunne bruke den overordnede log-summen fra bilkjøpsmodulen som mål på den generaliserte prisen på personbiler. Bilkjøpsmodulen må oppdateres ved hjelp av data til og med til 2019.

Bilkjøpsmodulen i BIG er økonometrisk estimert og danner bindeledd mellom avgiftspolitikken, prisutviklingen, teknologiutviklingen og utviklingen i personbilparken. Men bortsett fra denne delen har relasjonene i BIG lite atferdsteoretisk innhold. De er nærmest av mekanisk art: Endringene i kjøretøyparken, trafikkarbeidet, energiforbruket og avgassutslippene framkommer, som default, som resultat av faste avgangs- og tilgangsrate, kjørelengder og energiforbruksrate per kilometer, alt spesifisert for hver av de 11 253 cellene i kjøretøymatrisen.

Det kunne være interessant å endogenisere enkelte av disse sammenhengene – især de årlige kjørelengdene og tilgangen på nye godsbiler. Som ledd i kunnskapsplattformen Platon arbeider TØI med å etablere en markedsandelsmodell for nye godsbiler. Arbeidet er vanskelig, da det ikke foreligger tilsvarende datamateriale som for nye personbiler, og godsbilene heller ikke er belagt med differensierte avgifter i et slikt omfang at en lett kan identifisere virkningene av pris- og avgiftsendringer.

5 Kystverkets modell FRAM

5.1 Beskrivelse av modellsystemet

Det finnes flere ulike modeller for å analysere virkningene på globale utslipp av ulike tiltak og virkemidler innenfor sjøtransport. Hvilke modeller som er mest egnet, og hvordan disse bør benyttes, kommer an på problemstillingen som skal analyseres. I dette kapittelet vil vi fokusere på det modellapparatet Kystverket benytter i sine analyser av ulike tiltak rettet mot sjøtransport, blant annet i NTP-sammenheng. Det finnes også en rekke andre aktører som gjennomfører analyser og utvikler modeller spesifikt rettet mot analyser av utslipp fra sjøtransport, men de er ikke nærmere beskrevet her.

For å analysere overordnede vurderinger av utslippsvirkninger ved godsoverføring (fra f.eks. veg til sjø) eller vurderinger av nasjonale virkemidler kan Nasjonal godstransportmodell (NGM) med tilhørende tilleggsmoduler benyttes. Dette modellapparatet er nærmere beskrevet i kapittel 3 og vil kun omtales nærmere der hvor dette systemet benyttes i sammenheng med øvrige modeller rettet spesifikt mot kysttiltak.

For analyser av farledstiltak som påvirker utslipp til luft kan Kystverkets beregningsmodell FRAM3, og tilhørende analyseverktøy benyttes. Modellapparatet er i all hovedsak rettet mot samfunnsøkonomiske analyser av utdypinger og merketiltak der økt sjøsikkerhet eller bedre fremkommelighet er hovedformålet. Modellen inkluderer imidlertid også detaljerte beregninger av drivstofforbruk og tilhørende utslipp til luft og kan derfor også benyttes til å beregne utslippseffekter av teknologiendringer, endret flåte- og drivstoffsammensetning, i tillegg til endringer i utseilt distanse.

FRAM3 er først og fremst en beregningsmodell rettet inn mot å analysere samfunnsøkonomiske virkninger av *eksogen* gitte endringer i skipstrafikken. Modellen er derfor sentrert rundt analyser av hvordan endringer i trafikkomfang, fartøyssammensetning, operasjonsmønster eller skipenes egenskaper påvirker ulike deler av samfunnet. Den er ikke myntet på å analysere hvordan ulike tiltak, virkemidler eller markedsforhold påvirker berørte aktørers atferd. Analyser av eventuelle atferdsendringer må gjøres i kombinasjon med bruk av tilgrensende modeller eller tilleggsanalyser. Det er derfor avgjørende å se denne modellen i sammenheng med Kystverkets øvrige modellapparat for å kunne vurdere hvordan utslippsvirkninger av ulike tiltak og virkemidler kan analyseres.

5.2 Struktur

FRAM3 er en modell for beregning av prissatte virkninger i samfunnsøkonomiske analyser av farledstiltak og utgjør kjernen av Kystverkets modellapparat for analyser av tiltak rettet mot sjøtransport. Modellen håndterer virkninger av ulike farledsforbedringer for eksisterende skipstrafikk på ulike seilingsruter, overført trafikk mellom ulike seilingsruter eller overføring mellom ulike typer skip. Selve trafikkanalysene gjøres ved hjelp av analyseverktøy utenfor modellen, mens prognoser for framtidig utvikling i trafikkomfang og fartøyssammensetning er utledet fra resultatfiler fra NGM. Vurderinger av atferdsendringer knyttet til valg av ruter mellom to destinasjoner gjøres ved hjelp av en maskinlært

rutevalgsmoell som benytter observert atferd til å predikere endringer i framtidig seilingsmønster. Det er også utviklet en tilleggsmodul til FRAM3 for framskrivning av endringer i fartøyssammensetning, gitt ulike farleders egenskaper/begrensninger og eventuelle endringer i disse. For analyser av tiltak og virkemidler som kan medføre godsoverføring mellom sjø, veg og bane må NGM benyttes.

5.3 Aktører

Kystverkets modellapparat er i all hovedsak rettet inn mot analyser av konkrete skip og deres seilaser og inneholder i liten grad eksplisitt modellering av berørte markedsaktører eller deres beslutninger. Flåtesammensetning og trafikkmønster tar utgangspunkt i observert trafikk basert på AIS-data beriket med informasjon om skipenes dimensjoner og egenskaper hentet fra skipsregistre. Dette aggregeres så opp til en skipsmatrise delt inn i 15 skipstyper og 8 lengdegrupper, men modellen kan også brukes til å beregne virkninger ned på enkeltskip. Detaljeringsgraden og muligheten til å beregne virkninger ned på enkeltskip og seilaser gjør modellen godt egnet til å håndtere den store heterogeniteten i skipstrafikken innad i hver skipstype og lengdegruppe. Tabell 5.1 viser skipsmatrisen som inngår i modellen.

Tabell 5.1: Oversikt over skipstyper og lengdegrupper som inngår i FRAM3.

Skipstype / lengdegruppe (meter)	0-30	30-70	70-100	100-150	150-200	200-250	250-300	300-
Oljetankskip								
Kjemikalie-/Produktskip								
Gasstankskip								
Bulkskip								
Stykkogods-/Roro-skip								
Containerskip								
Passasjerbåt								
Passasjerskip/Roro								
Cruiseskip								
Offshore supplyskip								
Andre offshorefartøy								
Brønnbåt								
Slepefartøy								
Andre servicefartøy								
Fiskefartøy								
Annet								

Modellen benytter observert atferd for aktørene, og vurderer ikke eksplisitt om denne atferden er basert på beslutninger fra rederi, vareeier eller den enkelte kaptein. Videre er myndighetene også en indirekte aktør i modellen, i den grad det gjennomføres investerings-tiltak som påvirker aktørenes atferd, eller det innføres skatter, avgifter eller utformes krav eller restriksjoner. For eksempel vil seilingsrestriksjoner for skip med eller uten ulike typer utslippsteknologi kunne påvirke prognosene som legges eksogent inn i modellen, og/eller påvirke aktørenes overgang til alternative teknologier.

5.4 Eksogene og endogene variabler

FRAM3 er en beregningsmodell rettet inn mot å analysere samfunnsøkonomiske virkninger av *eksogent* gitte endringer i skipstrafikken. Den endogene output fra modellen består av ulike typer verdsatte effekter.

Beregninger av energiforbruk tar utgangspunkt i informasjon om skipenes utforming, framdriftssystem og forholdet mellom normal servicehastighet og observert hastighet i det relevante området som analyseres. Effekten av værforhold som bølger og vind kan også tas hensyn til i beregningene. Anslått energibehov fordeles deretter på syv ulike energibærere med tilhørende virkningsgrader og utslippsfaktorer. Dette framskrives så med prognoser for utvikling i trafikkomfang og endringer i flåtesammensetning i tillegg til forventede endringer i drivstoffsammensetning og energieffektivitet. For å beregne disse eksogent gitte endringene i modellen kan man benytte en rekke ulike verktøy.

5.5 Atferdsforutsetninger

FRAM3-modellen er ikke basert på eksplisitte antakelser om atferdsendringer for aktørene, men benytter observerte data. Observert og framtidig trafikkomfang, fartøyssammensetning og operasjonsmønster reflekterer imidlertid en rekke ulike aktørers preferanser og atferd gitt markedsforhold, relevante virkemidler og infrastruktur. Hvordan eventuelle endringer i disse faktorene påvirker skipstrafikken må imidlertid analyseres ved hjelp av andre verktøy og deretter legges inn som inputvariabler i modellen. I den grad det er forventet at tiltakene påvirker seilingsmønster og rutevalg benyttes Kystverkets rutevalgsmodell til å beregne atferdsendringer. I modellen kan man også beregne virkninger av tiltak for å redusere kø som følge av kapasitetsøkninger. Modellen antar at skip anløper uniformt over et tidsintervall og beregner kødannelse og ventetid over hele analyseperioden basert på observerte og framskrevne anløpsfrekvenser. Dersom sesong- og tidsvariasjoner er viktig, kan det defineres anløpsfrekvenser som er sesong- og tidspunktavhengige, for eksempel 'sommermorgen' eller 'vinternatt'. Rent modellteknisk er dette en køprosess med følgende egenskaper:

- Det antas at alle skipstyper og lengdegrupper anløper i henhold til en Poisson-prosess, der den skipsspesifikke anløpsraten kan gjøres avhengig av år, årstid, tid på døgnet og anløpsretning.
- Det kan spesifiseres opptil flere flaskehals (kaiavsnitt, farleder), som hver kan ha sin egen behandlingskapasitet (lossetid, gjennomseilingstid).
- Hver flaskehals kan kun håndtere ett skip av gangen.
- Skip danner kø (på hver side av flaskehalsen hvis det angis to anløpsretninger) og betjenes etter førstemann til mølla-prinsippet, med mindre det legges inn eksplisitte prioriteringer av enkelte typer skip.
- Det er ingen begrensninger på lengden av køen, ingen skip blir avvist.
- Kømodellen kjøres for hver spesifisert periode (kombinasjon av år, årstid og tid på døgnet) og beregner gjennomsnittlig ventetid i en stabil likevekt for et slikt system for hver periode, og så aggregert til hvert år.

Som nevnt over kan rutevalgsmodellen også benyttes til å modellere atferdsendringer. Modellen er maskinlæringsbasert. Modellen skal sette seg inn i og predikere rutevalget det enkelte skip tar i en helt konkret kontekst. Rutevalget kan være diktert av navigatør, rederi eller vareeier; det tar ikke modellen stilling til. Modellen benytter en rekke observerte data, så som metadata om skipet, fakta om forholdene på rutevalgstidspunktet (vind, nedbør,

bølger, lys/mørke), data om de aktuelle rutene man kan velge mellom (dybde, bredde, forventede kursendringer). Basert på disse dataene lærer modellen seg mønstre i hvilke variable som bestemmer rutevalget. Når man skal benytte modellen til å foreta prediksjoner, mater man inn de samme variablene for det området man studerer, og lar så modellen predikere rutevalget basert på de mønstrene den har lært seg. De variablene man ikke har observert ved prediksjonstidspunktet (for eksempel værforhold, mørke eller hastighet for nye skip), approksimeres gjennom en algoritme i modellen. Modellen er et godt verktøy for å vurdere endringer i seilingsmønstre ved store og små endringer i farledene, og for å predikere hvilke ruter som vil velges i fremtiden, dersom prognosene tilsier at det vil komme skipstyper og lengdegrupper man historisk ikke har observert i farleden.

FRAM3 inneholder ikke modellering av spesifikk atferd, og inneholder således ingen handlingsalternativer. Dersom atferd skal modelleres, benyttes andre verktøy. Som nevnt over er det Kystverkets rutevalg som benyttes i slike analyser. Her modelleres aktørenes valg innenfor ulike skipstyper og lengdegrupper av ulike seilingsruter basert på en rekke parametere som vær og vind, og andre egenskaper ved de ulike rutene.

5.6 Teknologi

FRAM3-modellen tar utgangspunkt i dagens observerte flåtesammensetning i et gitt geografisk område med tilhørende egenskaper og teknologi. Energiforbruket framskrives gitt forventninger om teknologisk utvikling og forventet utvikling i bruk av ulike energibærere. I modellen skilles det mellom teknologisk utvikling knyttet til skipenes netto energibehov for framdrift per seilingstime og hvordan dette energibehovet fordeles på ulike energibærere. Ettersom ulike energibærere har ulike virkningsgrader, beregnes deretter behovet for kjøp av energi i markedet for hver energibærer. På den måten skiller modellen mellom forventet utvikling i teknologi og overgang til andre energibærere. De syv ulike energibærerne som inngår i modellen er:

- marin diesel
- tung olje (HFO)
- flytende naturgass (LNG)
- hydrogen
- biodiesel
- flytende biogass (LBG)
- elektrisitet

Videre ligger det til grunn skipstype- og lengdegruppespesifikke effektiviseringsfaktorer, som per dags dato er satt til en forventning om effektivisering av netto energibehov på 20 prosent i 2050 fra dagens energibehov.

FRAM3 kan benyttes til å analysere endringer i flåtesammensetning, energieffektivitet og drivstoffsammensetning ved å legge det inn som eksogene sjokk i modellen. Slik kan en beregne for eksempel utslippsvirkningen av framskyndet flåtefornying, teknologiutvikling eller -implementering eller overgang til mer miljøvennlig drivstoff.

5.7 Virkemiddelanalyse

Ved hjelp av FRAM3 kombinert med øvrige deler av det tilgrensende analyseverktøy vil en kunne vurdere en rekke ulike tiltak og virkemidler som f.eks.:

- infrastrukturinvesteringer som flytting eller utbedring av havner og farleder
- endret operasjonsmønster som redusert hastighet eller overføring mellom farleder
- endret fartøyssammensetning
- energieffektiviseringstiltak
- endringer i drivstoffsammensetning

Modellen er svært detaljert når det gjelder beregninger av energiforbruk og utslipp, som i prinsippet kan analyseres for enkeltfartøy hvis ønskelig. Det gir høy grad av fleksibilitet til å analysere en rekke ulike klimarelaterte problemstillinger.

Virkninger av infrastrukturinvesteringer, som flytting eller utbedring av havner, eller av endrede avgifter, kan analyseres ved å legge inn eksogene endringer i fartøyssammensetning, seilingsmønster, utseilt distanse eller hastighet. Hvordan de konkrete investeringene påvirker disse parameterne kan analyseres ved hjelp av tilhørende analyseverktøy. For mindre virkninger, som endringer i hastighet eller utseilt distanse, vil trafikkanalyser basert på AIS-data i kombinasjon med interessentanalyser og nautiske vurderinger kunne være tilstrekkelig. For større tiltak som kan forventes å påvirke atferden til relevante aktører i form av trafikkoverføring mellom transportmidler eller ulike ruter, må mer sofistikerte modeller og tilleggsmoduler benyttes.

Rutevalgsmodellen er en maskinlært modell som benytter skipenes observerte atferd til å predikere hvordan endringer i for eksempel farledens dybde, bredde eller merking påvirker fordelingen av skip mellom ulike ruter. Det er utviklet egne modeller for å analysere hvordan farleds- eller havneutbedringer kan forventes å påvirke flåtesammensetning og kødannelser, for eksempel som følge av tilrettelegging for bruk av større skip, kapasitet til å håndtere flere skip samtidig eller som følge av effektivisering av laste- og losseprosesser i havn. For analyser av nasjonale virkemidler eller godsoverføring fra for eksempel veg til sjø er NGM eller mer detaljerte analyser av spesifikke varestrømmer nødvendig.

Endringer i flåtesammensetning, energieffektivitet og drivstoffsammensetning kan også legges inn eksogent, dersom man for eksempel ønsker å beregne utslippsvirkningen av fremskyndet flåtefornying, teknologiutvikling/-implementering eller overgang til mer miljøvennlig drivstoff.

5.8 Tidsperspektiver og typer av effekter

FRAM3 beregner og prissetter en rekke samfunnsøkonomiske virkninger over en tidshorisont på opp mot 75 år fra ferdigstillings-/implementeringsåret:

- Virkninger for trafikanter og transportbrukere:
 - Tidsavhengige kostnader
 - Distanseavhengig kostnader (drivstoffkostnader)
- Virkninger for det offentlige:
 - Forventede investeringskostnader
 - Vedlikeholdskostnader
- Virkninger for samfunnet for øvrig:
 - Luftforurensning
 - CO₂
 - NO_x
 - PM₁₀

- Ulykkeskostnader
 - Tap av liv
 - Personskader
 - Utslipp av olje til sjø
 - Materielle skader
- Opprensning av forurensede sedimenter
- Skattefinansieringskostnad

I tillegg kan virkninger for operatører som havner og lostjeneste beregnes og prissettes hvis relevant. Alle virkningene som er beskrevet ovenfor, prissettes i henhold til gjeldende vegledningsmateriale og føringer knyttet til NTP. Resultatene kan oppgis i kroner og øre eller ulike mengdeenheter som for eksempel tonn CO₂ redusert, liv, timer og distanse spart, enten per år eller over hele analyseperioden.

5.9 Sterke og svake sider

FRAM3 og tilhørende analyseverktøy er svært godt egnet til å gjøre detaljerte samfunns-økonomiske beregninger av ulike farleds- og havnetiltak på en effektiv og konsistent måte. Modellapparatet er også rettet inn mot å utnytte den store datatilgangen som finnes innen sjøtransport, der AIS og metadata fra skipsregistre gir rik tilgang på mikrodata knyttet til enkeltfartøys operasjonsmønster og egenskaper. Modellapparatet utgjør imidlertid ikke et komplett transportmodellsystem og er først og fremst rettet mot å analysere tiltakspakker for farledsutbedringer i avgrensede geografiske områder eller tiltak i enkelthavner. Modellene er derfor mindre egnet til å analysere mer omfattende tiltak over større geografiske områder eller endringer i nasjonale virkemidler. For denne type tiltak kan imidlertid NGM eller andre analyseverktøy benyttes, enten frittstående eller i kombinasjon med FRAM3, dersom man ønsker mer detaljerte beregninger av enkeltruter eller fartøyskategorier.

5.10 Databehov og datakvalitet

FRAM3-modellen er i hovedsak basert på observerte trafikkdata fra skipenes AIS-sendere. Dette er detaljerte data som viser skipenes posisjon for ulike tidspunkter, og er svært omfangsrike. I tillegg beriker modellen disse dataene med metainformasjon om egenskaper ved skipene. Dette er basert på internasjonale skipsregistre. Forutsetningene som legges til grunn i beregningen av effekter av tiltak, er i stor grad basert på anerkjente studier om ulike egenskaper ved skip. Modellen er i stor grad basert på offentlig tilgjengelige og åpne data.

Modellen benytter en rekke observerte data, så som metadata om skipet, fakta om forholdene på rutevalgstidspunktet (vind, nedbør, bølger, lys/mørke) og data om de aktuelle rutene man kan velge mellom (dybde, bredde, forventede kursendringer). Når man skal benytte modellen til å foreta prediksjoner, mater man inn de samme variablene for det området man studerer, og lar så modellen predikere rutevalget basert på de mønstrene den har lært seg.

5.11 Muligheter for videreutvikling

Beregningsmodeller som FRAM3 og øvrige deler av Kystverkets modellapparat vil alltid være under en viss grad av utvikling, og det er mange ulike retninger en slik videre utvikling kan ha. FRAM3 og tilhørende analyseverktøy er utviklet for Kystverket og er rettet inn mot deres behov for utredninger av kysttiltak. Hva som bør forbedres eller endres, vil komme an på hvilke behov Kystverket til enhver tid har, og hva de ønsker å prioritere. På overordnet nivå kan noen mulige videreutviklingsområder være å utvide modellapparatets bruksområder, integrere mer av de utenforliggende modellene for å utvikle et mer helhetlig analyseverktøy og gjøre det enklere å bruke modellen til delanalyser og beregninger av enkeltvirkninger. I tillegg vil det alltid være muligheter for å videreutvikle de ulike enkelt-elementene i modellen. Det er også et stort potensial for å videreutvikle den maskinlærte rutevalgsmodellen, særlig med hensyn til å utvide datagrunnlaget den er basert på.

6 Samordning og synergi mellom modellene

De fire modellsystemene for persontransport, godstransport, kjøretøybestand og kystfart er i liten grad integrert. Det er rom for visse gevinster gjennom en bedre samordning.

I forholdet mellom person- og godstransportetterspørsel er den mest åpenbare fellesnevneren transportnettverkene. Både personbiler, busser og godsbiler bruker det samme vegnettet. Etter hvert som trafikken nærmer seg vegnettets kapasitet, oppstår det negative eksternaliteter mellom kjøretøygruppene, først og fremst i form av økt transporttid. I dagens RTM ligger det inne en lastebilmatrix, for å ta hensyn til at godsbilene er med på å belaste vegnettet. Det brukes normalt en fast lastebilmatrix, men tanken er at man på sikt skal kunne ta inn en matrix direkte fra godsmodellen. Stort sett er det nok likevel ikke så problematisk med fast matrix, største feil vil være knyttet til prosjekt som er så omfattende at de i stor grad endrer konkurranseflaten mellom veg og bane.

Tilsvarende problematikk gjelder for jernbanenettet. Et særlig interessant spørsmål er hvorvidt det vil gi klimagevinst å la godstogene få høyere sporprioritet, på bekostning av passasjertog. For å besvare dette kunne en ha nytte av en integrert person- og godstransportmodell, eller eventuelt en prosedyre for å kjøre de to modellsystemene i iterasjon med hverandre.

Enda større samordningsgevinster kan en muligens få ved å integrere kjøretøymodellene med reise- og godstransportetterspørselsmodellene. Særlig vil dette gjelde dersom en, som antydnet i avsnitt 2.17, videreutvikler RTM og NTM6 med differensierte kostnadsfunksjoner for biler med ulike typer drivlinje, og også i bilholds- og førerkortmodellene (BHFK) innfører en segmentering av husholdene etter *hva slags* personbil(er) de disponerer. En slik integrering vil antakelig forutsette at BIG regionaliseres, eller at en i det minste etablerer en ettermodell til BIG som fordeler personbilene på fylker, kommuner, delområder eller grunnkretser. Et første steg i denne retningen er den primitive prosedyre for fylkesfordeling av den framskrevne bilbestanden som tidligere er utarbeidet av Fridstrøm (2019a).

Et annet eksempel på mulige synergigevinster på tvers av modellene oppstår hvis en skal beregne priselastisitetene for drivstoff. Prisene og avgiftene på drivstoff påvirker omfanget av vegtrafikk og utslipp på minst tre måter:

- (i). Direkte via bruken av de bilene vi allerede har (etterspørselen etter bilreiser)
- (ii). Indirekte via sammensetningen av nybilkjøpet og bilparken
- (iii). Indirekte via samlet bilhold

Den kortsiktige virkningen (i) kan beregnes ved hjelp av RTM og NTM6. Virkning (ii) kan beregnes på kort sikt vha. bilkjøpsmodulen i BIG og på lang sikt ved å framskrive bilbestanden under ulike alternativ mht. nybilsalgets sammensetning. Men ingen nåværende modeller fanger opp virkning (iii). For å beregne dette må en utvikle en (fortrinnsvis økonometrisk) modell for husholdenes samlede biletterspørsel.

Av særlig betydning her er den såkalte 'rebound'-effekten (Schipper & Grugg 2000, Small & van Dender 2005). Når kjøretøyene blir mer energieffektive, eller driftskostnaden per kilometer av andre grunner går ned, vil forbrukerne normalt tilpasse seg slik at omfanget av

bilreiser øker. En får ikke full klimaeffekt av at bensin- og diesebilene blir mer drivstoffgjerrige; en viss del av forbedringen 'spises opp' gjennom økt trafikk.

I [TEMPO](#)-prosjektet (Fridstrøm & Alfsen 2014) ble rebound-effekten av 50 proSENTS lavere drivstofforbruk per km anslått til 15 prosent økt biltrafikk på *korte* reiser på det sentrale Østlandet. CO₂-utslippet på korte reiser synker derfor ikke med 50 prosent, men med 42 prosent.

På *lange* reiser beregnet TEMPO-prosjektet at transportarbeidet innenlands i Norge vil gå opp med snaut 16 prosent, dersom drivstofforbruket per km skulle bli halvert. Trafikkarbeidet med bil ville gå opp med ikke mindre enn 48 prosent. Men i dette tilfellet er årsaken til den økte biltrafikken en interessant annen-ordens rebound-effekt, ved at en betydelig del av trafikkveksten består av reiser overført fra fly. CO₂-utslippet fra fly ville synke med en mengde tilsvarende nesten 14 prosent av personbilenes opprinnelige utslipp. Det innebærer en slags 'endelig' rebound-effekt i klimagassregnskapet på bare 6 av de opprinnelige 50 prosentene som utgjorde energieffektiviseringen for personbiler. Da har en riktignok ikke tatt hensyn til at utslippene fra fly, i motsetning til bilenes, er kvoteregulert.

Beregninger gjort ved hjelp av oppdaterte modeller (Madslien & Kwong 2015) tyder på at den kortsiktige bilreiseetterspørselseffekten av endrede drivstoffkostnader er betydelig svakere, nærmere bestemt bare en tredjedel så stor som anslått i TEMPO. Avviket mellom de to modellberegningene har sammenheng, dels med oppdatering av datagrunnlaget, dels med endringer i de generaliserte kostnadsfunksjonene. Det er mye som tyder på at forrige generasjon av langdistansemodellen (NTM5), som lå til grunn for TEMPO-beregningene, genererte for høy prisfølsomhet for bilreiser, men for lav tidselastisitet (Steinsland & Fridstrøm 2014).

TEMPO-beregningene illustrerer en viktig distinksjon i klimapolitikken på transportområdet: mellom korte og lange reiser. De lokale bilreisene konkurrerer i all hovedsak med *mer* klima- og miljøvennlige alternativ – buss, bane, sykkel og gange. Dårligere vilkår for biltrafikken i byer og tettsteder vil derfor gi reduserte klimagassutslipp og miljøbelastninger. På lange avstander, derimot, konkurrerer personbilene i Norge først og fremst med fly. Avhengig av belegget i biler og fly gir det liten – eller kanskje til og med negativ – klimagevinst å flytte reiser fra bil til fly. Når bilene blir (nesten) utslippsfrie, vil klimaargumentet gå nokså tydelig i bilens favør (jf. Teknologiutvalget 2019). Således er raske vegger med lave kostnader mellom de største byene ikke nødvendigvis dårlig klima- og miljøpolitikk. Å oppkreve bompenger på disse strekningene hjelper ikke klimaet. For tunge kjøretøy har vegens geometri atskillig betydning for energiforbruket og utslippet, slik at gode vegger trolig gir klimagassreduksjon på godstransportsiden, med mulig forbehold for at godstransporten på jernbane kan tape konkurranseevne.

I RTM og NTM6 blir den kortsiktige rebound-effekten tatt hensyn til. De beregnede elastisitetene uttrykker hvordan reiseatferden endrer seg 'i likevekt', dvs. etter at de reisende har tilpasset seg de nye relative prisene, mht. reisehyppighet og valg av reisemål, reise-middel og reiserute. Men verken reiseetterspørselsmodellene eller BIG fanger opp den mulige, langsiktige rebound-effekten via *økt samlet bilhold*. D'Haultfoeuille m.fl. (2013) har undersøkt virkningen av den franske bonus-malus-ordningen for nye biler. Ordningen innebærer at kjøpere av biler med lavt typegodkjent utslipp får et tilskudd fra staten, mens biler med høye utslipp er pålagt en engangsavgift. D'Haultfoeuille m.fl. (2013) finner at ordningen har ført til økt bilhold og økte CO₂-utslipp, fordi mange av de billigste bilmodellene er blitt enda billigere, slik at flere familier har fått råd til bil.

Det er ikke undersøkt hvorvidt de norske bilavgiftene, og fritakene fra disse, kan ha liknende rebound-effekter. Siden ingen bilkunder i Norge får penger utbetalt for å kjøpe

bil, vil en neppe kunne få samme effekt som i Frankrike – at de billigste bilene blir enda billigere. Effekten er snarere at utvalget av relativt rimelige biler blir større, især hvis vi tar nåverdien av årsavgiftene og energiutgiftene med i betraktningen. Siden elbilene har nullutslipp, vil disse i seg selv ikke kunne bidra til noen rebound-effekt i klimagassregnskapet. Men samlet bilhold og trafikk vil kunne gå opp, dersom det blir flere tobilushold. Hybridbilene, som også avgiftsfavoriseres, vil kunne bidra til så vel økt trafikk som større utslipp. Slik sett kan en ikke se bort fra en viss rebound-effekt av bilavgiftslettelsene også i Norge, altså at bilholdet og biltrafikken blir større enn de ville ha vært dersom null- og lavutslippsbiler ikke hadde hatt avgiftslettelser. For å regne på dette på en meningsfylt måte måtte en først definere et konkret nullalternativ: Hvordan ser det alternative bilavgiftssystemet ut? Skal overgangen til et eventuelt nytt system være provenynøytral?

Enkelte andre trender drar samtidig i retning av lavere privat bilhold: redusert førerkort-innehav blant yngre personer, tettere og mindre bilvennlige bystrukturer, forbedret kollektivtilbud, økt bruk av bompenger og vegprising, lavutslippssoner og andre restriksjoner på bruk av biler med forbrenningsmotor, innfasing av nabobil- og andre bildelingsordninger, økt knapphet på parkering så vel ved boligen som ved reisemålene, mv. Koronapandemien kan tenkes å gi varige endringer i reiseetterspørselen og i valget mellom bil og kollektivtransport. Noen av disse fenomenene lar seg i prinsippet analysere ved hjelp av modellapparatet; det må utredes hvilke. Nettoeffekten av de til dels motstridende trendene er i utgangspunktet vanskelig å forutsi. Én gjetning kan være at bilholdet i bykjernene vil gå ned, mens det vil øke i forsteder og landdistrikter.

7 Forenkling og operasjonalisering av modellene

De ulike transportmodelltypene kan klassifiseres på forskjellig vis avhengig av egenskaper og virkemåte. Tørset m.fl. (2012) plasserer transportmodelltypene som brukes i Norge på tre modellnivåer avhengig av detaljeringsnivå og planleggingshorisont, se Fig. 7.1.

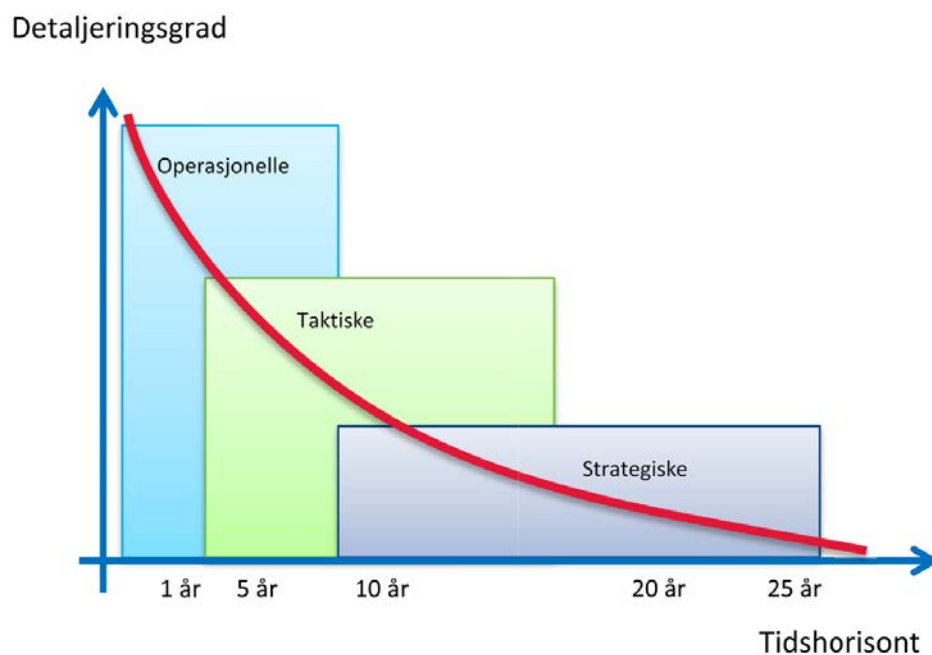


Fig. 7.1: Transportmodelltyper sortert etter detaljeringsgrad i modellen og tidshorisont. Kilde: Tørset m.fl. (2012), sitert av Kwong (2019).

Graden av detaljeringsnivå går blant annet på inndata, resultat og tidsoppløsning. Et annet forhold av betydning er beregningstiden. Det tar forholdsvis lang tid og krever betydelig spesialkompetanse å kjøre RTM-, NTM6- eller BIG-modellen. Trafikkavviklingen modelleres meget detaljert i operasjonelle modeller og relativt detaljert i taktiske modeller, men begge modelltyper tar som regel etterspørsel for gitt. Strategiske modeller som RTM og NTM er mindre detaljerte på trafikkavvikling, men modellerer til gjengjeld etterspørselen på OD-matriser ut fra de generaliserte reisekostnadene og en rekke andre faktorer (se avsnitt 2.10) og tar gjennom iterasjoner høyde for tilbakekoplingseffekter fra økt reisetid når det er trengsel i vegnettet.

Transportmodellene RTM og NTM6 er først og fremst utviklet for å beskrive de trafikale konsekvenser av investeringer i transportsystemet – kvantitativt i forbindelse med konseptvalg og mer detaljert ved utforming av konkrete prosjekter. Beregning av trafikantfordelene ved forbedring av transportsystemet avhenger av trafikantenes rutevalg. Erfaringen viser at brukbare resultater krever detaljerte nettverksmodeller basert på et omfattende datagrunnlag om både veg-, bane-, fly- og skipsrutenettet og om dagens reisemønstre, som løpende

må oppdateres. Dette er den mest ressurskrevende del av vedlikeholdet av RTM- og NTM-modellene. Det betyr også at det i konkrete anvendelser tar tid å spesifiser input og kjøre modellene, og at det kan være tungvint å teste ut mange forskjellige alternativer.

For analyser av klimatiltak er den romlige fordeling av utslippene uten betydning. Modellen må dekke hele landet, men trafikken fordeling på nettverket er ikke viktig for å evaluere klimakonsekvensene. Om man kan ta ut rutevalgsdelen av modellene, kan det gi operasjonelle fordeler på flere måter:

- Det kan bli mulig å lage en 'light'-versjon av modellene som kan implementeres i et mer brukervennlig verktøy, f.eks. et avansert regneark, som krever mindre teknisk innsikt i spesialisert programvare. En slik 'light'-versjon må designes så den i størst mulig grad gir samme overordnede resultat som de underliggende rutevalgsbaserte modellene.
- Anvendelsen av modellen kan bli smidigere og gi brukerne større fortrolighet med hvordan modellen fungerer, fordi det blir mulig raskt å teste ut forskjellige endringer. Dette vil også medvirke til transparens.
- Det kan bli enklere å modellere effekten av en rekke faktorer og tiltak, som er relevante på policy-nivå, men som det er komplisert eller umulig å dra inn i dagens nettverksbaserte modeller. Det empiriske grunnlag kan være estimert i andre sammenhenger, f.eks. andre norske modeller med et annet fokus, eller hentes fra den vitenskapelige litteraturen.

Et eksempel på sistnevnte er effekten av heterogenitet i bilparken, ikke minst elbiler, og integrasjon av bilvalgsmodellen BIG. Et annet eksempel er effekten på valg av transportform og reiseomfang av komfortforbedringer på vegnettet eller i kollektivtrafikken som går utover endringer i reisetid og billettpris.

Utfordringen ved å utelate modellenes romlige dimensjon er at de fleste klimarelaterte virkemidler også påvirker turmønstret, både med hensyn til reiseomfang og transportmiddelvalg, og at størrelsen av effektene avhenger av 'level-of-service'-mål (LoS) for transportsystemets tilbud. Men disse etterspørselseffekter kan på det overordnede nivå som trengs for klimaanalyser, uttrykkes gjennom de implisitte elastisitetene fra RTM- og NTM6. Direkte- og krysspriselasiteter mellom transportformene og tilsvarende elastisiteter for reisetid, inntekt og andre faktorer kan beregnes på aggregert nasjonalt nivå ved en rekke modellkjøringer hvor bare én variabel endres av gangen.

Klimaeffektene kan beregnes ut fra de gjennomsnittlige CO₂-utslippsfaktorene, i samsvar med prinsippene i modellen EFFEKT. Det samme gjelder for så vidt andre typer miljøeffekter. Integrasjon med BIG kan gi langt større detaljeringsgrad og mulighet for å beregne de samlede effekter av tiltak som påvirker kjøretøyparkens sammensetning. I tillegg kan en integrere en modul for nyttekostnadsberegninger i et samlet *klimaanalyseverktøy*.

Den skisserte modellstruktur gir naturligvis bare en gjennomsnittlig og meget forenklet beskrivelse av påvirkningen av transportetterspørselen og de avledede klimaeffektene. Det vil være stor variasjon i effekten geografisk og på tvers av befolkningsgrupper, og ulike reisehensikter kan bli påvirket på forskjellige måter.

Den meget detaljerte modellstruktur i RTM og NTM6, med oppdeling av befolkningen geografisk på mer enn 13 000 grunnkretser og 600 segmenter, oppdeling på separate modeller for hver av de seks reisehensikter, samt fordelingen av reiser på tidsperioder gir mulighet for å nyansere regnearkmodellens beskrivelse av effektene. En kan se for seg å dekomponere resultatene ut fra disse dimensjonene på en måte som er tilnærmedesvis konsistent med RTM og NTM6. Dekomponeringene kan f.eks. gjelde fylker, by- og tettstedsstørrelser, inntektsgrupper og/eller tid på døgnet.

8 Statsbudsjettets klimaeffekter

I dette kapitlet ser vi nærmere på poster i statsbudsjettet som berører utslipp av klimagasser. Vi tar utgangspunkt i eksempler fra prosjektet *Metode for å kategorisere statsbudsjettets poster etter klimagassutslipp* (Bruvoll m.fl. 2020), som er gjennomført på oppdrag for Miljødirektoratet på vegne av Teknisk beregningsutvalg for klima. Utgangspunktet for beregninger av statsbudsjettets klimavirkninger er endringen fra et budsjettår til et annet. Tabell 8.1 dekker derfor poster i Samferdselsdepartementet og Finansdepartementet som *endres* mer enn 500 tusen kroner i absoluttverdi fra budsjettår 2019 til budsjettår 2020. (Poster som har null eller tilnærmet null endring i kroneverdi gir også nær null endring i utslippene.)

Postene er deretter inndelt i grupper, som spesifiserer gjennom hvilke økonomiske mekanismer virkemidlene utløser utslippseffekter. Postene vi har identifisert nedenfor, dekker tre typer mekanismer.

8.1 Preiseffekter, endrede kostnader for utslipp av klimagasser

I tillegg til prising av CO₂ vil en rekke andre skatter og avgifter kunne påvirke utslippene tilsvarende, ved at de endrer kostnadene ved bruk av fossile energivarer eller andre utslippsintensive varer eller tjenester. Dette gjelder for eksempel avgifter på svovel og NO_x, og andre avgifter som øker prisene på fossilt baserte innsatsfaktorer. Til forskjell fra CO₂-utslipp kan utslipp av NO_x og svovel renses, men høyere NO_x- og svovelavgifter vil likevel drive opp kostnadene på fossile energivarer og gi insentiver til å redusere klimagassutslippene. Andre eksempler på avgifter som bidrar til høyere/endrede energipriser er grunnavgiften på mineralolje og vegbruksavgiften på drivstoff. I statsbudsjettet framkommer disse virkemidlene som inntekter fra skatter og avgifter som påvirker kostnadene knyttet utslippsintensive varer eller tjenester. Økte avgiftsinntekter kommer ikke nødvendigvis av økte avgiftssatser, men kan også komme av økte utslipp, eventuelt av økte utslipp som følge av lavere satser. Alle modellanalyser må bygge på innhentet informasjon om eksogene drivkrefter.

8.2 Endret tilbud eller etterspørsel etter utslippsintensiv transport

I tillegg til de mer direkte priseffektene nevnt ovenfor, vil offentlig sektor påvirke omsetningen av utslippsintensive varer og tjenester (og dermed også relative priser) gjennom investeringer og drift. Eksempler er investeringer og drift i transportsektoren. I statsbudsjettet opptrer disse mekanismene gjennom utgiftssiden i budsjettet, og de er knyttet til blant annet investeringer i vegprosjekter.

8.3 Endret tilbud eller etterspørsel etter alternativer til utslippsintensiv transport

Etterspørsel etter utslippsintensiv transport vil påvirkes av tilskudd til bruk og utbygging av alternativer til utslippsintensiv transport. Eksempler er støtte til sykkeltiltak og belønningsordning for kollektivtransport.

I Tabell 8.1 sorteres de aktuelle postene etter mekanismene, for lettere å kunne tilpasse og kjøre analyser av flere tiltak samtidig i modellene.

Tabell 8.1: Endringer i statsbudsjettet 2019-2020 som er relevante for utslippsberegninger innenfor transportsektoren.

Post	Beskrivelse		Endring i budsjettpost, 1000 kroner
Avgifter – Virkemiddel: Kostnad utslippsintensiv			
70		Vegbruksavgift på bensin	-908
71		Vegbruksavgift på autodiesel	-1 007
71		Engangsavgift - Avgift på motorvogner	-2 919
Økonomiske incentiver til transport – Virkemiddel: Kostnad utslippsintensiv			
73	Statens vegvesen	Tilskudd for reduserte bompenger utenfor byområdene	858 503
Investeringer i veg – Virkemiddel: Tilbud utslippsintensiv			
30	Statens vegvesen	Store prosjekter	-848 200
30	Statens vegvesen	Fornyng av riksveg	-141 800
70	Nye Veier AS	Tilskudd til Nye Veier AS	70 594
		Sum	-919 406
Investeringer i jernbane – Virkemiddel: Alternativer til tilbud utslippsintensiv			
75	Jernbanedir.	Tilskudd til godsoverføring fra veg til Jernbane	88 000
70	Jernbanedir.	Kjøp av persontransport med tog	-250 607
71	Jernbanedir.	Kjøp av infrastrukturtjenester – drift og vedlikehold	93 954
		Sum	-747 660
Investeringer i gang/syssel – Virkemiddel: Alternativer til tilbud utslippsintensiv			
30	Statens vegvesen	Gang-, sykkel- og kollektivtiltak på riksveg	700 000
63	Statens vegvesen	Tilskudd til gang- og sykkelveger	-79 992
		Sum	620 009
Investeringer i kollektiv – Virkemiddel: Alternativer til tilbud utslippsintensiv			
61, 65		Belønningsordningen for bedre kollektivtransport mv. i byområdene	-416 288
63		Særskilt tilskudd til store kollektivprosjekt	2 070 000
		Sum	1 653 712
30, 64, 65		Belønningsmidler til bymiljøavtaler og byvekstavtaler	351 051
65		Reduserte bompenger og bedre kollektivtilbud	850 000
		Sum	1 214 351

I tabell 8.2 framgår hvilke modeller som kan benyttes for å vurdere utslippseffekter av disse eksemplene på tiltak over statsbudsjettet, det vil si investeringer og skatter og avgifter (reguleringer unntatt).

Tabell 8.2: Modeller for beregninger av utslippseffekter knyttet til endringer i statsbudsjettet, endring i budsjettet 2019-2020 som eksempel.

Tiltak	Modell(er)
Avgifter – Virkemiddel: Kostnad utslippsintensiv	
Vegbruksavgift på bensin	BIG, RTM, NTM6
Vegbruksavgift på autodiesel	
Engangsavgift - Avgift på motorvogner	
Økonomiske insentiver til transport – Virkemiddel: Kostnad utslippsintensiv	
Tilskudd for reduserte bompenger utenfor byområdene	RTM, NTM6, NGM
Investeringer i veg – Virkemiddel: Tilbud utslippsintensiv	
Store prosjekter	RTM, NTM6, NGM, EFFEKT
Fornyng av riksveg	
Tilskudd til Nye Veier AS	
Investeringer i jernbane – Virkemiddel: Alternativer til tilbud utslippsintensiv	
Tilskudd til godsoverføring fra veg til Jernbane	RTM, NTM6, NGM, SAGA, Trenklin, EFFEKT
Kjøp av persontransport med tog	
Kjøp av infrastrukturtjenester – drift og vedlikehold	
Investeringer i gang/sykkel – Virkemiddel: Alternativer til tilbud utslippsintensiv	
Gang-, sykkel- og kollektivtiltak på riksveg	RTM
Tilskudd til gang- og sykkelveger	
Investeringer i kollektiv transport – Virkemiddel: Alternativer til tilbud utslippsintensiv	
Belønningsordningen for bedre kollektivtransport mv. i byområdene, tilskudd til store kollektivprosjekt	RTM
Belønningsmidler til bymiljøavtaler og byvekstavtaler, bompenger og bedre kollektivtilbud	

9 Oppsummerende vurdering

Person- og godstransportmodellene er partielle atferdsmodeller basert på disaggregerte data om transportbrukere, transporttilbydere og infrastruktur. De kan med varierende letthet/beregningstid brukes til analyse av et vidt spekter av virkemidler, inkludert

- investeringer i infrastruktur
- bompenger/vegprising
- endring i drivstoffpriser og -avgifter
- endring i kollektivtilbudet og/eller -takstene
- endring i fergetilbudet og/eller -takstene
- endring i reisefradraget ved skattelikningen
- endret framtidig lokalisering og arealbruk
- endringer i fysisk tilgjengelighet og omlastingskostnader (endret effektivitetsklasse) for ulike terminaler
- endringer i fysiske eller regulatoriske rammebetingelser som f.eks. tillatt totalvekt for kjøretøy

I kombinasjon med BIG-modellen kan en også studere

- endring i engangsavgiften for personbiler
- endring i momsreglene for personbiler
- tilskudd til kjøp av lav- og nullutslippsteknologi for vare- og lastebiler, jf. Nullutslippsfondet administrert av Enova
- langsiktige effekter av endrede energipriser

Ved å prøve ut ulike virkemiddelpakker kan en også snu om på problemstillingen, dvs. studere hva som skal til for å nå bestemte politiske mål, så som

- nullvekst i personbiltrafikken i byene
- en viss reduksjon i CO₂-, NO_x-, SO₂- eller PM₁₀-utslipp
- en viss andel utslippsfrie nye kjøretøy
- en viss andel utslippsfrie kjøretøy i bestanden
- en viss andel utslippsfrie kjøretøy for en viss størrelse av godsbiler (som f.eks. benyttes til distribusjonsskjøring i byene)

Persontransportmodellene er tilnærmet heldekkende for persontransporten og beregner fullstendige sett med direkte- og kryssvirkninger mellom transportgrenene. Elastisitetene er endogene. Modellene borer således dypere enn de fleste makroøkonomiske likevektsmodeller. Deres disaggregerte fundament og detaljerte geografiske spesifisering reduserer risikoen for aggregeringsfeil, men eliminerer den ikke helt. Baksiden av medaljen er at modellkjøringene krever spesialkompetanse og betydelig datainput og i mange tilfeller er tid- og arbeidskrevende.

I kombinasjon med BIGs bilkjøpsmodul kan modellene også belyse virkningene av visse former for forbedret energiteknologi i personbiler, så som lavere bensin- og dieselforbruk eller lengre elektrisk rekkevidde for elbiler og hybrider. For varebiler og tunge godsbiler er disse sammenhengene foreløpig ikke endogenisert.

Modellene for persontransport, godstransport, kjøretøybestand og sjøfart kunne med fordel være bedre integrert.

Når en sammenlikner modellprognosene med faktisk trafikkvekst og vurderer hvorvidt forutsetningene har vist seg realistiske, finner en at prognosene treffer relativt bra på den underliggende transport- og trafikkveksten, men at de ikke klarer å fange opp de nivåskift en får ved at en i enkelte år har en spesielt kraftig vekst eller tilbakegang. I prognosene er økonomisk og demografisk utvikling samt prisutvikling for transport eksogent gitt, basert på vekstbaner fra Finansdepartementets beregningsmodeller og SSBs prognoser for befolkningsvekst. Disse faktorene er førende for nivået på prognosene, for regional fordeling og for fordeling mellom transportformene. Vi finner da også at transportprognosene 'bommer' i tilfeller der input treffer dårlig med faktisk utvikling. Spesielt befolkningsutviklingen er en viktig driver for transportomfanget. Samtidig er den relative prisutvikling mellom transportformene av betydning for transportmiddelfordelingen, selv sagt sammen med utviklingen i transporttilbudet (veger og kollektivtilbud).

Datagrunnlaget for modellene er et kritisk element. På persontransportsiden er det avgjørende at reisevanedataene er av høy kvalitet og aktualitet og raskt kan stilles til disposisjon for forskere, modellutviklere og -brukere, helst med ferdig påkodede nettverksdata om alle reisealternativ. På dette punkt er det stort rom for forbedring. Datainnsamlingen i RVU gjennomføres nå som en kontinuerlig rullerende undersøkelse. Svarprosenten blir imidlertid lavere og lavere, og det er store utvalgsskjevheter mht. utdanningsnivå, førerkortinnehav, mv. En må kanskje se for seg radikalt nye datainnsamlingsmetoder i en ikke altfor fjern framtid, f.eks. ved hjelp av mobil-apper.

For godstransport er utfordringen at det ikke er gjennomført noen varestrømsundersøkelse siden 2014. Erfaringen fra siste undersøkelse er at den var dyr å gjennomføre, og at det var en betydelig utfordring i å etablere nasjonale estimater basert på det innsamlede materialet. Samferdselsdepartementet besluttet også å avvente en ny undersøkelse til det er mulig å innhente informasjon om transportmiddelvalg i en tilsvarende undersøkelse. I det tidligere nevnte LIMCO-prosjektet sonderes derfor potensielle alternative datafangstløsninger basert på bedriftenes fagsystemer. En foreløpig konklusjon er at dette er muligheter som finnes i ERP³⁵-systemer, men at norske bedrifter så langt i svært liten grad har tatt funksjonaliteten i bruk.

³⁵ ERP-system: Enterprise Resource Planning system.

Litteratur

- Askildsen T C (2008). "Næringslivets avstandskostnader" – et fruktbart begrep? TØI-rapport [256](#), Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Ben-Akiva M (1973). Structure of passenger travel demand models. PhD dissertation, Department of Civil Engineering, MIT, Cambridge, Mass.
- Ben-Akiva M, Lerman S R (1985). *Discrete choice analysis: theory and application to travel demand*. MIT Press, Cambridge, Mass.
- Brons M, Nijkamp P, Pels E, Rietveld P (2006). [A Meta-analysis of the Price Elasticity of Gasoline Demand. A System of Equations Approach](#). Tinbergen Institute Discussion paper TI 2006-106/3, Amsterdam.
- Bruvoll A, Westberg N B, Linnerud K, Torvanger A, Rød M (2020). Metode for å kategorisere statsbudsjettets poster etter klimagassutslipp. Menon rapport 56, Menon Economics, Oslo.
- Caspersen E, Wangsness P, Østli V, Madslien A (2015). *Dokumentasjon: GodsNyttemodellen*. TØI-rapport 1446, Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Dagsvik J K (1983). Discrete Dynamic Choice: An Extension of the Choice Models of Luce and Thurstone. *J. Math. Psychology* **27**: 1-43.
- de Jong G, Ben-Akiva M, Baak J, Grønland S E (2013). [Method Report – Logistics model in the Norwegian National Freight Model System \(Version 3\)](#). Significance report, Haag.
- D'Haultfoeulle X, Givord P, Boutin X (2013). The Environmental Effect of Green Taxation: The Case of the French Bonus/Malus. *The Economic Journal* **124**: F444-F480.
- Fossum M, Tørset T, Odeck J (2018). An exploratory ex-post evaluation of transport models: The case of Norwegian road projects. Paper presentert ved European Transport Conference.
- Fridstrøm L (2016). Drivstoffavgifter. www.tiltakskatalaog.no.
- Fridstrøm L (2017a). From innovation to penetration: Calculating the energy transition time lag for motor vehicles. *Energy Policy* **108**: 487-502.
- Fridstrøm L (2017b). Bilavgiftenes markedskorrigerende rolle. *Samfunnsøkonomen* **131**(2): 49-65.
- Fridstrøm L (2017c). Avstemming av BIG-modellen mot SSBs klimaregnskap. Arbeidsdokument 51218, Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Fridstrøm L (2018). Selvberging i skatte- og miljøperspektiv. *Samfunnsøkonomen* **132**(6): 13-16.
- Fridstrøm L (2019a). *Framskrivning av kjøretøyparken i samsvar med nasjonalbudsjettet 2019*. TØI-rapport [1689](#), Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Fridstrøm L (2019b). *Dagens og morgendagens bilavgifter*. TØI-rapport [1708](#), Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Fridstrøm L (2020). [Who will bell the cat? On the environmental and sustainability risks of electric vehicles: A comment](#). *Transportation Research Part A* **135**: 354-357.
- Fridstrøm L, Alfsen K H (red.) (2014). *Vegen mot klimavennlig transport*. TØI-rapport 1321, Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Fridstrøm L, Rand L (1993). *Markedet for lange reiser i Norge*. TØI-rapport 220, Transportøkonomisk institutt, Oslo.

- Fridstrøm L, Ramjerdi F, Svae P C, Thune-Larsen H (1991). *Miljøavgifters virkning på samferdselen*. TØI-rapport 77, Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Fridstrøm L, Østli V (2014). *Ressursøkonomisk regnskap for elektrifisering av bilparken*. TØI-rapport [1350](#), Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Fridstrøm L, Østli V (2016). *Kjøretøyparkens utvikling og klimagassutslipp. Framskrivinger med modellen BIG*. TØI-rapport [1518](#), Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Fridstrøm L, Østli V (2017). The vehicle purchase tax as a climate policy instrument. *Transportation Research Part A* **96**: 168-189.
- Fridstrøm L, Østli V (2018a). Virkningene av endringer i bilbeskatningen. *Samfunnsøkonomen* **132**(5): 45-59.
- Fridstrøm L, Østli V (2018b). *Etterspørselen etter nye personbiler analysert ved hjelp av modellen BIG*. TØI-rapport [1665](#), Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Fridstrøm L, Østli V (2020). Direct and cross price elasticities of demand for gasoline, diesel, hybrid and battery electric cars: the case of Norway. Paper submitted to *European Transport Research Review*.
- Fridstrøm L, Østli V, Johansen K W (2013). *Vrakepant som klimatiltak*. TØI-rapport [1292](#), Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Fridstrøm L, Østli V, Johansen K W (2016). [A stock-flow cohort model of the national car fleet](#). *European Transport Research Review* **8**: 22.
- Grue B, Hamre T N, Larsen O I, Rekdal J, Voldmo F (1999). *Den nasjonale persontransportmodellen. Fase 4C*. TØI-rapport 1151, Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Grue B, Madslie A, Hovi I B (2016). *Gods- og persontransportprognoser 2006-2014 Sammenlikning av prognose og prognoseforutsetninger med faktisk utvikling*. TØI-rapport [1468](#), Transportøkonomisk institutt, Oslo
- Grønland S E (2018). [Kostnadsmodeller for transport og logistikk – Basisår 2016](#). TØI-rapport 1638.
- HBEFA (2009). *Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs*. Publisert som programvare på CD-ROM. Infrac AG, Bern. Tilgjengelig her: www.hbefa.net
- HCG, TØI (1991). A model system to predict fuel use and emissions from private travel in Norway from 1985 to 2025. Hague Consulting Group, Haag.
- Hamre T N (2002). *NTM 5. Den nasjonale persontransportmodellen, versjon 5*. TØI-rapport 555, Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Hamre T N, Grue B, Rekdal J (2001). *Tilrettelegging av data for estimering av nye langdistansemodeller i den nasjonale persontransportmodellen (NTM fase 5)*. TØI-rapport 523, Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Hamre T N, Rekdal J, Larsen O I (2002). *Utvikling av den nasjonale persontransportmodellen i fase 5. Del B: Estimering av modeller*. TØI-rapport 606.
- Hansen W (2019). Transport and the Spatial Economy: Developing a Spatial Computable General Equilibrium model for analysis of wider economic impacts. Theses for the PhD in Logistics at Molde University College
- Hansen W, Madslie A, Grønland S E, Hovi I B, de Jong G (2017). *Vurdering av det nasjonale modellsystemet for godstransport*. TØI-rapport 1559, Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- HBEFA (2009). *Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs*. Publisert som programvare på CD-ROM. Infrac AG, Bern. Tilgjengelig her: www.hbefa.net
- Hicks J R (1939). Value and Capital: *An Inquiry into Some Fundamental Principles of Economic Theory*. Oxford: Clarendon Press.

- Hoel M, Moss A, Vennemo H (2020): Kalkulasjonspris for CO₂ og utslipp av CO₂ i transportmodellene. Vista Analyse rapport 3.
- Hovi I B (2018). [Varestrømmer i Norge – en komponent i Nasjonal godstransportmodell](#). TØI-rapport 1628.
- Hovi I B, Bråthen S, Hjelle H M, Caspersen E (2014). *Rammebetingelser i transport og logistikk*. TØI-rapport 1353, Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Hovi I B, Hansen W, Johansen B G, Jordbakke G N, Madslien A (2017). *Framskrivninger for godstransport i Norge 2016-2050*. TØI-rapport 1555, Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Hulleberg N, Ukkonen A (2020). *Klimakur 2030 – Transportmodellberegninger*. TØI-rapport [1746](#), Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- IPCC (2018). [Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development](#). Kap. 2 i *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. United Nations' Intergovernmental Panel on Climate Change, New York.
- Ivanova O, Vold A, Jean-Hansen V (2002). *PINGO A model for prediction of regional- and interregional freight transport. Version 1*. TØI-rapport 578, Transportøkonomisk institutt, Oslo
- Jansson J O (1980): A simple bus line model for optimization of service frequency and bus size. *Journal of Transport Economics and Policy* **14**(1): 53-80.
- Jara-Diaz S, Gschwender A (2003): Towards a general micro-economic model for the operation of public transport. *Transport Reviews* **23**(4): 453-469.
- Klima- og forurensningsdirektoratet (2010). Klimakur 2020. Tiltak og virkemidler for å nå norske klimamål mot 2020. Tilgjengelig her: www.klimakur2020.no.
- Knapskog M, Hagen O H, Kwong C K, Lunke E B (2018). *Prognoseverktøy for arealbruk. Framgangsmåte for innhenting av arealdata*. TØI-rapport [1637](#), Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Kwong C K (2019). [Bruk av modellverktøy til transportanalyse](#). www.tiltak.no.
- Labandeira X, Labeaga J M, López-Otero X (2016). [A meta-analysis on the price elasticity of energy demand](#). EUI Working Paper RCAS 2016/25, Roberts Schuman Centre for Advanced Studies, Vigo/Madrid/Firenze.
- Larsen O (2014). *Validering av godstransportmodellen*. Arbeidsrapport M 1403, Møreforskning Molde AS, Molde.
- Luce R D (1959). *Individual Choice Behavior*. Wiley, New York.
- Madslien A, Hovi I B (2007). *Gods- og persontransportprognoser 1996-2006. Sammenlikning av prognose og prognoseforutsetninger med faktiske utvikling*. TØI-rapport [922](#), Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Madslien A, Hulleberg N, Kwong C K (2019). *Framtidens transportbehov Framskrivninger for person- og godstransport 2018-2050*. TØI-rapport [1718](#), Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Madslien A, Kwong C K (2015). *Klimagasseffekt ved ulike tiltak og virkemidler i samferdselssektoren – transportmodellberegninger*. TØI-rapport 1427, Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Madslien A, Minken H, Vingan A (2010). *Klimakur 2020 – transportberegninger, samfunnsøkonomi og kostnad pr tonn CO₂*. TØI-rapport 1056, Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Madslien A, Rekdal J, Larsen O I (2005). *Utvikling av regionale modeller for persontransport i Norge*. [TØI-rapport 766](#), Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Madslien A, Steinsland C, Grønland S E (2015). *Nasjonal godstransportmodell. En innføring i bruk av modellen*. TØI-rapport 1429, Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Madslien A, Steinsland C, Kwong C K (2017). *Framskrivninger for persontransport i Norge 2016-2050*. TØI-rapport 1554, Transportøkonomisk institutt, Oslo.

- Madslie A, Steinsland C, Maqsood T (2011). *Grunnprognoser for persontransport 2010-2060*. TØI-rapport 1122, Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Magnussen K, Navrud S, San Martin O (2010). *Den norske verdsettelsesstudien: Verdssetting av tid, sikkerhet og miljø i transportsektoren: Støy*. TØI-rapport 1053E, Sweco og Transportøkonomisk institutt, Oslo
- McFadden D (1974). Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. S. 105-142 i Zarembka P (red.). *Frontiers in econometrics*. Academic Press, New York.
- McFadden D (1981). Econometric Models of Probabilistic Choice. S. 198-272 i Manski C F, McFadden D (red.). *Structural Analysis of Discrete Data with Econometric Applications*. MIT Press, Cambridge, Mass.
- McFadden D (2000). [Economic Choices](#). Nobelprisforedrag, trykt i *American Economic Review* **91** (3): 351-378 (2001).
- Meld. St. 1 (2018-2019). Nasjonalbudsjettet for 2019. Finansdepartementet, Oslo.
- Meld. St. 21 (2011-2012). Norsk klimapolitikk. Miljøverndepartementet, Oslo.
- Meld. St. 33 (2016-2017). Nasjonal transportplan 2018-2029. Samferdselsdepartementet, Oslo.
- Miljødirektoratet (2020). [Klimakur 2030. Tiltak og virkemidler mot 2030](#). Rapport M-1625, Miljødirektoratet, Oslo.
- Mohring H (1972). Optimization and scale economics in urban bus transportation. *American Economic Review* **62**: 591-604.
- Odeck J (2013). How accurate are national traffic growth-rate forecasts? The case of Norway. *Transport Policy* **27**: 102-111.
- Odeck J, Welde M (2017). The accuracy of toll road traffic forecasts: An econometric evaluation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. **101**: 73-85.
- Ramjerdi F, Rand L (1992). *The national model system for private travel*. TØI-rapport 150, Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Rekdal J (2006). *Evaluation of the Norwegian long distance transport model (NTM5). Main report*. Rapport 0609, Møreforskning Molde AS.
- Rekdal J, Hamre T N, Flügel S, Steinsland C, Madslie A, Grue B, Zhang W, Larsen O I (2018) *NTM6 – Transportmodeller for reiser lengre enn 70 km*. Rapport nr 1414, Møreforskning Molde AS.
- Rekdal J, Larsen O I, Løkketangen A, Hamre T N (2013). *Tra_Mod By Del 1: Etablering av nytt modellsystem. Revidert utgave av rapport 1203*. Rapport 1313, Møreforskning Molde AS.
- Rødseth K L, Wangsness P B, Veisten K, Høye A K, Elvik R, Klæboe R, Thune-Larsen H, Fridstrøm L, Lindstad E, Rialland A, Odolinski K, Nilsson J-E (2019). *Eksterne kostnader ved transport i Norge. Estimer av marginale skadekostnader for person- og godstransport*. TØI-rapport [1704](#), Transportøkonomisk institutt, Oslo
- Samuelson P A (1947). *Foundations of Economic Analysis*. Harvard University Press, Cambridge, Mass.
- Schipper L, Grugg M (2000). On the rebound? Feedback between energy intensities and energy uses in IEA countries. *Energy Policy* **28**:367-388.
- SFT (2009). [Vurdering av framtidige kvotepriser fra Etatsgruppen Klimakur 2020](#). Rapport TA-2545, Statens forurensningstilsyn m.fl., Oslo.
- Small K, van Dender K (2005). [The Effect of Improved Fuel Economy on Vehicle Miles Travelled: Estimating the Rebound Effect Using U.S. State Data, 1966-2001](#). University of California Energy Institute: Policy & Economics.
- Spieß H, Florian M (1989). Optimal strategies: A new assignment model for transit networks. *Transportation Research Part B: Methodological* **23**(2): 83-102.

- Steinsland C (2014). *Modellberegninger*. Vedlegg 1 til TØI-rapport [1321](#), Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Steinsland C (2017). *Transportmodellberegninger Buskerudbyen byutredning*. TØI-rapport [1623](#), Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Steinsland C, Flügel S, Halse A (2019). Analyse av endringer i modellforutsetninger og samfunnsøkonomisk nytte for noen av Nye Veiers prosjekter. Arbeidsdokument 51510, TØI.
- Steinsland C, Fridstrøm L (2014). *Transportmodeller på randen. En utforskning av NTM5-modellens anvendelsesområde*. TØI-rapport [1309](#), Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Steinsland C, Fridstrøm L, Madslien A, Minken H (2018). The climate, economic and equity effects of fuel tax, road toll and commuter tax credit. *Transport Policy* **72**: 225-241.
- Steinsland C, Madslien A (2007). *Følsomhetsberegninger for godstransport basert på grunnprognosene for NTP 2010-2019*. TØI-rapport [925](#), Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Steinsland C, Østli V, Fridstrøm L (2016). *Equity effects of automobile taxation*. TØI-rapport [1463](#), Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Teknologiutvalget (2019). [Teknologi for bærekraftig bevegelsesfrihet og mobilitet](#).
- Thurstone L L (1927). A Law of Comparative Judgement. *Psychological Review* **34**: 273-286.
- Tietge U, Díaz S, Mock P, Bandivadekar A, Dornoff J, Ligterink N (2019). [From laboratory to road. A 2018 update of official and "real-word" fuel consumption and CO₂ values for passenger cars in Europe](#). ICCT, Berlin.
- Tørset T, Meland S, Levin T, Haug T, Norheim B (2012). [Verktøy til transportanalyser i by](#). SINTEF rapport A23560.
- Vold A, Jean-Hansen (2007). *PINGO – A model for prediction of regional and interregional freight transport in Norway*. TØI-rapport 899, Transportøkonomisk institutt, Oslo
- Williams H W C L (1977). On the Formation of Travel Demand Models and Economic Evaluation Measures of User Benefit. *Environment & Planning A* **9**(3): 285–344.
- Østli V, Fridstrøm L, Johansen K W, Tseng Y-Y (2017). [A Generic Discrete Choice Model of Automobile Purchase](#). *European Transport Research Review* **9**:16.
- Østli V, Fridstrøm L, Kristensen N B, Lindberg G (2020). Comparing the Scandinavian automobile taxation systems and their CO₂ mitigation effects. Paper submitted to *International Journal of Sustainable Transportation*.

Transportøkonomisk institutt (TØI)

Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning

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

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

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

TØI er partner i CIENS Forskningssenter for miljø og samfunn, lokalisert i Forskningsparken nær Universitetet i Oslo (se www.ciens.no). Instituttet deltar aktivt i internasjonalt forsknings-samarbeid, med særlig vekt på EUs rammeprogrammer.

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

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

Besøks- og postadresse:

Transportøkonomisk institutt
Gaustadalléen 21
NO-0349 Oslo

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