

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 modellframskrivningene 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 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 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 framskrivning av nasjonal økonomisk utvikling til bruk i NGM
- BIG – TØIs bilgenerasjonsmodell, et regnearksystem 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 avgrensing. 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 dieselmotorer vil føre til at flere kjøper elbil.

I reiseetterspørselsmodellene 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-kjedepriippet. 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, fartøyssammensetning, 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 *bushold*, som tar beslutninger om bilhold, førerkortinnhav 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. *Sendingsfrekvens, 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 *energiteknologiernes 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. Førerkortinnhav 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 krysspriselastisitetene større innenfor et bestemt bilmerke enn på tvers av ulike bilmerker. Priselastisitetene 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 kjøpsprosess, 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 navigator, 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 førerkortinnhav 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 produksjonseenheter. 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

Virkingen 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 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 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 *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 *keøprising* 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 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 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 vegger, 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 utvalgte 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 skjønsmessig 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 fartøysammensetning
- 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 reisemål, ca. 600 husholdssegment og – i prinsippet – alle par av grunnkretser. Men resultatene på så disaggregert nivå er upålitelige. Av større betydning er at en får fram persontransportens aggregerte *klimagassutslipp*, fordelt på reisemidler. Med visse forutsetninger er det også mulig på grovt vis å beregne enkelte økonomiske størrelser, så som samlede *utlegg til drivstoff og billetter*, samlet *tidsbruk* og verdien av denne, samlede *eksterne kostnader*, mv. De *samfunnsøkonomiske kostnadene* ved en bestemt virkemiddelbruk vil som regel kunne beregnes, i alle fall ved moderate endringer, ved hjelp av trapesformelen ('rule-of-half') – 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.

Tidshorizonten 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 tidshorizont enn 2050. Da er en allerede to kjøretøygenerasjoner inn i framtida. Lengre framskrivning enn dette vurderes som for spekulativt.

Framskrivingsdelen av BIG inneholder ingen priser, kostnader, inntekter eller andre økonomiske størrelser. Bilkjøpsmodulen har imidlertid listepris- og avgiftsdata for alle modellvarianter og kan beregne så vel etterspørselskurver som direkte- og krysspris-elasiteter. 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 tidshorizont 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, folke- mengde, 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 teknologendringer

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 muligens 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. Utdfordringen 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 – 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' 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), listepriiser fra OFV (Opplysningsrådet for Veitrafikken, som også tilrettelegger data om nyregistreringer fra motorvognregistret). I tillegg brukes data fra lastebilundersøkelsene, tabellariske oversikter fra Statistisk sentralbyrå, kjøring 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, nedfôr, 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 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.

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. Nyttan 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 trafikkenes 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 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. 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*.