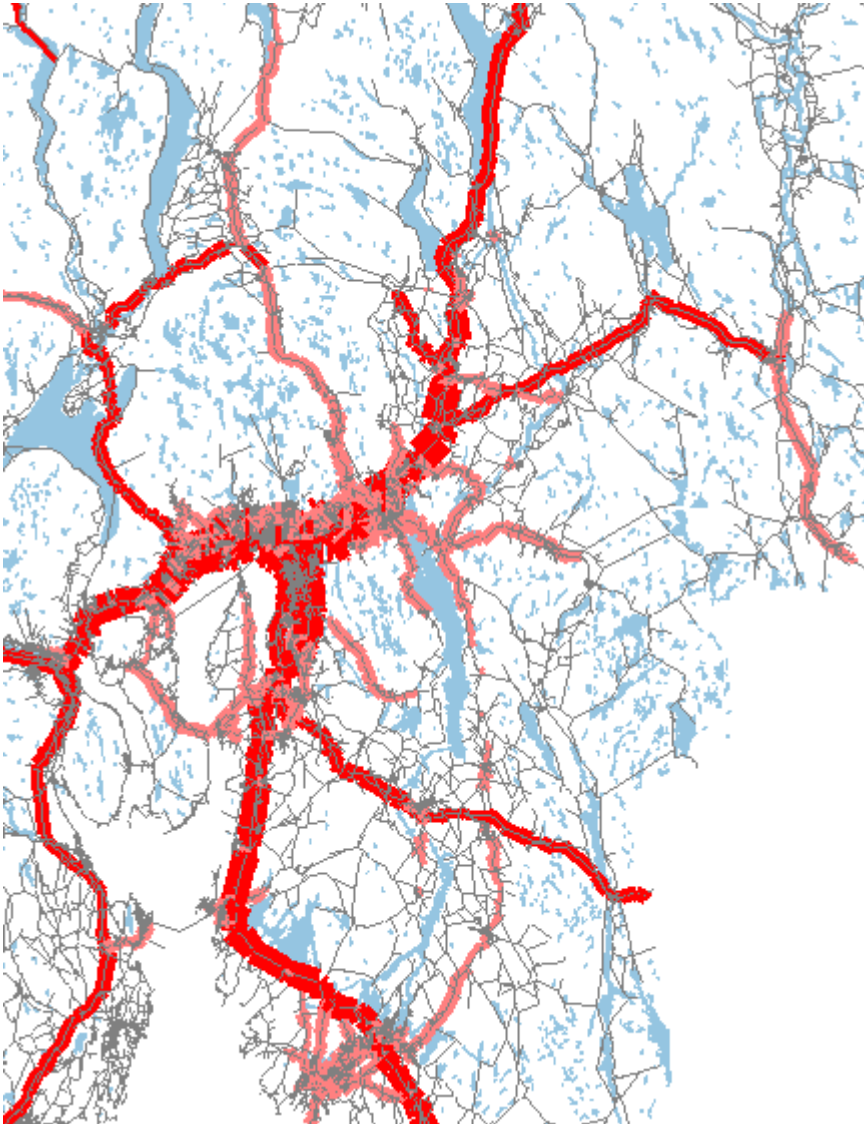


Bruk av modellverktøy til transportanalyse



Transportanalyse er en sentral del av strategisk planlegging for å vurdere konsekvenser av endret transportsystem, policy for sektoren eller utvikling i sentrale drivere for transportomfang. Ved å bruke en transportmodell kan virkninger av enkeltstående tiltak eller samlede effekter av flere tiltak tallfestes på en systematisk og etterprøvbar måte.

Det finnes en rekke transportmodeller som kan være til hjelp i analyser. Verktøyene har sine styrker og svakheter, og et «universelt» modellverktøy som «svarer på alt» finnes ikke. Selv om modellene gir tilsynelatende presise svar på desimalnivå, må man ikke glemme at de først og fremst er hjelpemidler til å *systematisere og tolke* komplekse sammenhenger. Modellene har sin styrke i å belyse de *relative* endringene ved sammenligning av tiltak- og referansescenarier

1 Problem og formål

Tallfeste en mulig utvikling

Transportanalyse inngår som en sentral del av strategisk planlegging for å vurdere transportmessige konsekvenser av endret transportsystem, endret policy for transportsektoren eller endret utvikling i sentrale drivere for transportomfang (f.eks. befolkningsutvikling, arealbruk, inntektsutvikling og bilhold). For å tallfeste en mulig utvikling av transportomfanget, kan disse komplekse sammenhengene beskrives matematisk gjennom en transportmodell. Ved å bruke en transportmodell kan virkninger av enkeltstående tiltak eller samlede effekter av flere tiltak tallfestes på en systematisk og etterprøvbar måte.

Ulike typer transportmodeller

Det finnes et spekter av ulike typer transportmodeller som kan være til hjelp i analyser. De ulike typene er tuftet på ulike metodiske tilnærminger og tjener til ulike formål. Kunnskap om transportmodellens virkemåte og deres muligheter og begrensninger er derfor nyttig for å vurdere hvilke typer modellverktøy som er relevant for å belyse ulike problemstillinger. Dessuten kan mer kunnskap om transportmodeller bidra til en mer realistisk forventning til hva en modellanalyse faktisk kan svare på. I dette tiltaket presenteres de mest brukte transportmodellverktøyene i norsk sammenheng og deres bruksområder.

Avmystifisere ved å forenkle

De mest omfattende modellsystemer er komplekse beregningsmodeller som kan virke nokså utilgjengelige for andre enn spesialister. En kartlegging av bruk av transportmodeller i forbindelse med byutredninger for de åtte største byområdene i 2017, avdekket en del skepsis og myter rundt bruk av transportmodeller blant planleggere og bestillere av transportutredninger (Hagen m.fl. 2018). Som et forsøk på å avmystifisere transportmodellene har vi valgt en forholdsvis enkel form på foreliggende gjennomgang, som er rettet mot fagfolk og andre lesere som ikke har inngående kjennskap til transportmodeller fra før.

Trafikkberegninger

Gjennomgangen er avgrenset til selve trafikkberegningen og til de viktigste forskjellene mellom ulike modelltyper. Den berører i liten grad tilstøtende analyser som samfunnsøkonomisk analyse og nytte-/kostnadsanalyse, selv om valg av analyseverktøy og metodikk i blant kan være motivert ut i fra behovene til slike analyser. For ytterligere detaljer anbefales en aktiv bruk av referanselisten.

Et hjelpemiddel - ikke eksakte svar

Selv om transportmodellene gir tilsynelatende presise svar på desimalnivå, må man ikke glemme at modellverktøyene først og fremst er hjelpemidler til å *systematisere og tolke* komplekse sammenhenger. De erstatter dermed ikke den kvalitative vurderingen. Transportmodellene har sin styrke i å belyse de *relative* endringene ved sammenligning av

tiltak- og referansescenarier. mens usikkerheten knyttet til de absolutte tallene er større og er heftet av en rekke usikkerheter knyttet til inngangsdata, forutsetninger om detaljeringsnivå, modellformuleringer og andre sentrale forutsetninger i modellen. Usikkerheten kan tallfestes ved å gjøre følsomhetsberegninger for sentrale forutsetninger, for eksempel om endret inntekts- og befolkningsutvikling. Det vil si at en kan sette resultatberegninger av ulike forutsetninger opp mot hverandre og på den måten tallfeste usikkerheten.

En modell kan ikke svare på alt

Når man skal ta stilling til hvordan en modellanalyse skal gjennomføres er det en rekke forhold som må vurderes. De ulike verktøyene har sine styrker og svakheter, og et «universelt» modellverktøy som «svarer på alt» finnes ikke. Dersom problemstillingen er sammensatt er det ofte behov for å belyse effekter på ulike nivåer med ulike verktøy. I realiteten kan det i mange tilfeller være andre forhold som krav til framdrift, manglende data- og modellgrunnlag og tilgang til ressurser og kompetanse som setter begrensninger for hvilke analyser som kan gjøres og omfanget av disse.

Innholdet i tiltaket

Kapittel 2 og 3 gir en kort gjennomgang av teoretisk og metodisk grunnlag. De mest brukte transportmodeller i den norske modellverktøykasse i Norge presenteres i kapittel 4. I kapittel 5 beskrives modeller som kan supplere disse. Omtale av arealdataverktøy er beskrevet etter innspill fra KiT sekretariatet ved Rune Opheim. Kapittel 6 gir eksempler på bruk av transportmodeller i analyser for miljøvennlig transport. Kostnader drøftes kort i kapittel 7 og i kapittel 8 oppsummeres muligheter og begrensninger ved transportmodeller. Kapittel 9 er en fylldig referanseliste med linker til viktige rapporter.

2 Beskrivelse av tiltaket - teoretisk rammeverk

Transport i et moderne samfunn kan betraktes som et resultat av komplekse sammenhenger mellom etterspørsel (ønske om å reise) og tilbud (muligheten for å reise). Det vil si *etterspørsel etter reiser i tid og rom* på den ene siden og hvordan reisene kan foretas ut i fra tilgjengelige *reisemåter* på den andre siden.

Firetrinnsmetodikken

Den klassiske tilnærmingen til transportanalysen bygger på *Firetrinnsmetodikken* (engelsk: Four-stage transport model) der transportomfanget beregnes gjennom fire trinn (Vegdirektoratet 2018):

1. Turproduksjon/turfrekvens (antall reiser)
2. Turfordeling/destinasjonsvalg (hvor en velger å reise til)
3. Reisemiddelvalg (bilfører, bilpassasjer, kollektivtransport, sykkel, gange)
4. Rutefordeling (veg- og rutevalg)

Modelloppbyggingen etter disse fire trinnene har mer eller mindre bestått siden 1960-tallet, selv om det etter hvert er tatt i bruk mer avanserte statistiske metoder som i større grad tar hensyn til avhengigheter mellom trinnene (Ortuzar og Willumsen 2006). Et eksempel er at destinasjonsvalget, hvor en vil reise, kan være avhengig av hvilke reisemidler som er tilgjengelig. Dette skaper et behov for å modellere disse valgene simultant framfor å betrakte dem som sekvensielle, uavhengige valg.

Alle reiser har et startpunkt og et endepunkt. I en transportmodell forenkles dette til at alle reiser foregår mellom soner (gjerne grunnkretser). De tre første trinnene inngår i *beregning av reiseetterspørselen*, der reiser mellom sonene beregnes for de ulike transportmidlene. Alle reiser har også (som oftest) et formål, vi skal som regel noe når vi reiser. I en transportmodell skilles det derfor mellom reiser etter ulike reisehensikter. Dette er viktig fordi valgene og verdsetting av tidsbruk kan være forskjellig mellom for eksempel en arbeidsreise og en fritidsreise. På en arbeidsreise vil vi kanskje komme fort fram fordi vi skal rekke et møte eller en åpningstid, mens på en annen reise kan det være at vi foretrekker å ta det litt mer med ro fordi ankomsttiden kanskje ikke er så avgjørende.

Data om sonene inngår som input til etterspørselsberegningen. Sonene beskrives ut fra kjennetegn som påvirker reiser fra eller til sonen. Det vil si forhold ved området eller befolkningen som påvirker transportomfanget og transportmiddelvalg. Dette er blant annet data om bosatte fordelt på kjønn og alder, husholdningstyper, biltilgang, omfang av førerkort, arbeidsplasser, annen arealbruk og inntektsnivå.

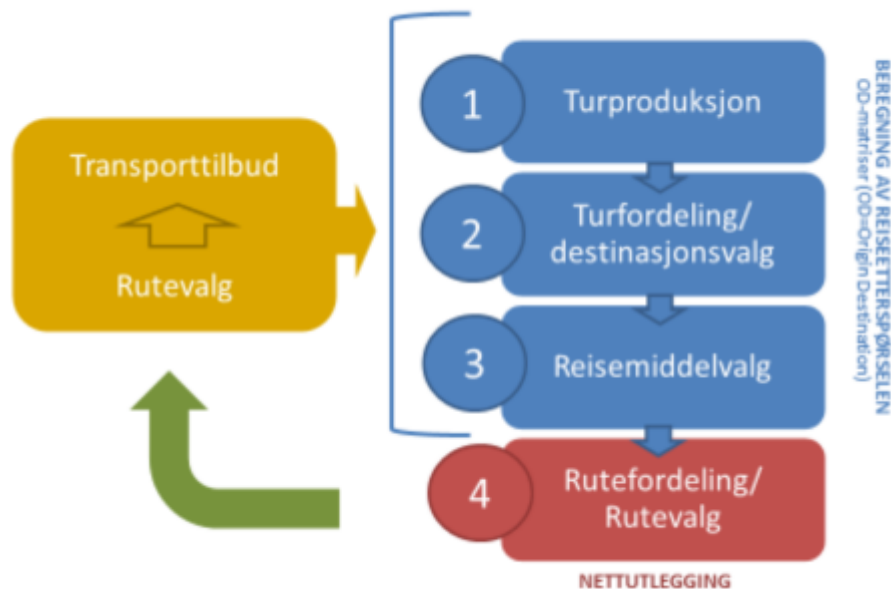
Resultatet fra de tre første trinnene gir en etterspørselsberegning. Den beskrives som OD-matriser (OD=OriginDestination) med antall reiser (trafikken) mellom sonene med de ulike transportmidlene. I det fjerde og siste trinnet fordeles reisematrixene i et transportnettverk gjennom rutevalgberegninger for henholdsvis bil, gang, sykkel og kollektivtransport.

Beskrivelsen av transporttilbudet

Også i den innledende fasen av modellberegningen, i etterspørselsberegningen, gjøres det en rutevalgberegning, for å fremskaffe en *beskrivelse av transporttilbudet*. Denne er forskjellig for ulike transportmidler:

- *For bil* beregnes reisetid, reiseavstand og reisekostnad langs den mest attraktive ruten
- *For kollektivtilbudet* beregnes gangtid, ventetid, ombordtid, antall påstigninger og eventuelt byttetid, i tillegg til billett-kostnader. Når det gjelder gangtid til holdeplass er det utviklet nye beregningsmetoder som beregner gangtid til den holdeplassen med best tilbud, ikke bare den nærmeste holdeplassen.
- *Rutevalg for gang og sykkel* har tradisjonelt vært basert på enkle forutsetninger om raskeste rute, men det er i ferd med å implementeres mer avanserte modeller som f.eks. tar hensyn til hvor det er tilrettelagt infrastruktur for syklistene

Disse tids- og kostnadskomponentene beregnes mellom alle par av soner og kalles for *LoS data* (**L**evel **O**f **S**ervice data) og består i realiteten et sett av matriser (*LoS matriser*) som beskriver transportkvaliteten med ulike reisemåter mellom sonene. En meget skematisk og forenklet framstilling av gangen i en typisk transportmodellberegning er vist i figur 1.



[Eksempel på beregnet](#)

[trafikkstrømmer med regional transportmodell RTM](#). Figur 1: En forenklet framstilling av firetrinnsmetodikken i en klassisk strategisk transportmodell.

Prinsippet om likevekt

I *rutefordeling for biltrafikk* (vegvalget) blir bilreiser fordelt etter *Wardrops brukerlikevekt* (1952) der trafikken omforderes mellom aktuelle ruter i nettverket gjennom gjentatte kjøring (iterasjoner) til en oppnår en likevektssituasjon. Likevektssituasjonen oppnås når ingen reise kan gå raskere ved å skifte rute (Ortuzar og Willumsen 2006). Da er det tatt hensyn til egenskaper ved vegnettet som hastighet, antall felt, lengde og kryssløsninger. Beregning av trafikkvolum i vegsystemet og på hver enkelt lenke gjøres ved bruk av en rekke volum- og hastighetsfunksjoner som beskriver sammenhengene mellom hastighet, kapasitet og volum.

For *kollektivtransport* fordeles reiser etter ulike former for optimaliseringsstrategier der de ulike rutekombinasjoner vurderes ut ifra frekvens, reisetid og antall bytter. Reisene blir på denne måten fordelt på attraktive rutekombinasjoner etter valgsannsynlighet for de enkelte rutealternativene (Spiess og Florian 1989). I strategiske transportmodeller har man normalt ikke tatt hensyn til kapasitet på kollektivkjøretøyene ved fordelingen i nettverket, men de fleste programpakker for transportmodeller har funksjonaliteter for det.

Tradisjonelt har bruk av de klassiske strategiske transportmodellene gjerne hatt som *mål å oppnå likevekt mellom reiseetterspørsel og trafikkavvikling på veinettet*. Etter første runde med modellberegning vil de nettutlagte trafikkstrømmene på veinettet generere oppdaterte reisetider mellom sonene. Dette gir opphav til oppdatert informasjon om transporttilbudet som da må følges opp av en ny runde med etterspørselsberegning, slik den grønne pilen i figur 1 illustrerer. Gjentatte beregninger (iterasjoner) mellom etterspørselsberegning og nettfordeling foregår fram til et konvergenskriterium er oppfylt eller et bestemt antall iterasjoner er fullført. I mer komplekse transportmodellsystem, som for eksempel det norske

regionale transportmodellsystemet (RTM), inngår i realiteten en rekke delmodeller innenfor hvert trinn og mellom trinnene. Disse blir beskrevet lenger ned.

3 Datakilder til transportmodeller

En transportmodell er på sett og vis en forenklet matematisk beskrivelse av de virkelige sammenhengene ved reisevalg. For å kunne forklare disse sammenhengene er man avhengig av kunnskap om hvordan reiser foretas og faktorer som påvirker trafikantenes valg:

Må ha data om det som påvirker befolkningens reisevaner

Data fra *reisevaneundersøkelser* utgjør den viktigste kilden til kunnskap om reiseetterspørsel. Disse dataene, sammen med informasjon om en rekke sosioøkonomiske kjennetegn ved respondentene, gir kunnskap om trafikantenes preferanser og forhold som påvirker deres valg knyttet til reiser. Gjennom en estimeringsprosess tester man statistisk ulike modellstrukturer, formuleringer og forklaringsvariabler for å finne hva som best kan forklare de observerte reisevalg.

For å beregne reiseetterspørsel for et helt område er det behov for å vite noe om den *demografiske fordelingen*, antall og type arbeidsplasser, inntektsnivå og arealbruk. Disse dataene kan fremskaffes helt ned på grunnkrets nivå hos *Statistisk sentralbyrå* og *Statens kartverk*.

Data om transporttilbudet

Transporttilbudet for området beskrives ved at det kodes inn i programvarepakker som er rettet mot transportmodellering. Eksempler på slike kommersielle modellverktøy er CUBE (www.citilabs.com), EMME (www.inro.ca) og VISUM (<https://www.ptvgroup.com/en-us/>).

- *Veinettet for biltrafikk* blir forenklet beskrevet med noder (kryss) og lenker med egenskaper som hastighet, lengde, feltbruk og kapasitet, samt bompenger og fergekostnad
- *Kollektivtilbudet* beskrives på linjenivå med rutetrasé, holdeplasser, frekvens, rutetid, billettpris, og tilbringerlenker som ivaretar gangturen til, fra og mellom holdeplasser. Bussene benytter seg av veinettet, i tillegg må egne nettverk for tog, trikk, bane, båt og fly kodes inn.
- Dersom *sykkeltrafikken* modelleres separat kan det være aktuelt å kode egne nettverk med egenskaper rettet mot sykkeltrafikk (Flügel mfl. 2017).
- *Transporttilbudet for gående følger i stor grad bilnettverket* med unntak av motorveier og tunneler der gående ikke har adgang.

Transporttilbudet for syklende og gående har tradisjonelt vært dårlig representert i modellene. Det har imidlertid vært en del utvikling i dette de siste årene. Særlig for sykkel har det vært en forbedring. For gående er det imidlertid fremdeles en rekke svakheter med unntak av gåing til holdeplass som blir forbedret i siste versjon av regional transportmodell (RTM).

Datasettene for transporttilbudet blir normalt etablert ut fra datakilder som er mer eller mindre tilrettelagt for automatisk generering: *Norsk vegdatabank* (NVDB) er hovedkilden for veinettet i de norske transportmodellene. Nettverk generert fra OpenStreetMap (OSM) er en alternativ datakilde til veilenker som ikke er fullt dekket av NVDB (for eksempel enkelte gang- og sykkelveier, gangstier, snarveier etc.). Rutetilbudet for kollektivtransport har hittil i stor grad vært håndtert manuelt av modelloperatører, men i 2017 ble *Nasjonal rutedatabank* etablert. Det er en samlet database for all rutegående transport i Norge og vedlikeholdes av EnTur AS (www.entur.org). Denne nasjonale databasen for rutedata åpnet muligheten for å automatisere generering av kollektivrutebeskrivelser til transportmodeller (Kwong og Ævarsson 2018).

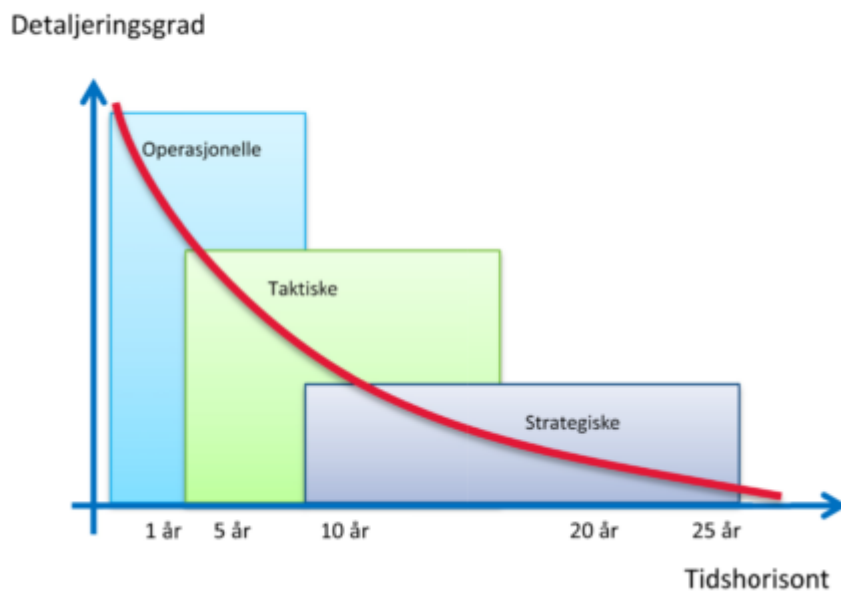
Data som kan kvalitetssikre resultatene fra transportmodellene

Reisevanedata, trafikkteellinger, reisetidsmålinger, billettstatistikk og ombordteellinger på kollektivtransport er aktuelle datakilder som kan *brukes til å verifisere resultatene fra transportmodeller* og til å tilpasse modellene for å oppnå bedre treff mot dagens situasjon. Med basis i en kalibrert transportmodell kan vi beregne en mulig endring av transportomfanget ved endringer i gitte forutsetninger. Man kan for eksempel ønske å analysere effekten av endringer i transporttilbudet, endret arealbruk eller andre endringer som påvirker kostnadene forbundet med transport.

4 Eksempler - den nasjonale og regionale «modellverktøykassa»

4.1 Noen kjennetegn ved transportmodelltypene

De ulike transportmodelltypene kan klassifiseres på forskjellig vis avhengig av egenskaper og virkemåte. Tørset mfl (2012) plasserer transportmodelltypene som brukes i Norge på tre modellnivåer avhengig av detaljeringsnivå og planleggingshorisont, se figur 2. Grad av detaljeringsnivå går blant annet på inndata, resultat og tidsoppløsning.



Figur 2: Transportmodelltyper

sortert ut i fra detaljeringsgrad i modellen og tidshorisont. Kilde: Tørset mfl. (2012).

Modellering av trafikken på vegnettet

Kø og trengsel på vegnettet er en utfordring for transportmodellene. I Flügel mfl. (2014) er transportmodellenes egenskaper knyttet til beregning av realistiske reisetider i et købelastet veinett og deres evne til å modellere nettverkseffekter og kødynamikk grundig diskutert. De ser også på hvordan reiseetterspørsel blir håndtert.

Trafikken på vegnettet modelleres i trafikkmodeller. I *taktiske(meso) trafikkmodeller* tar rutevalgberegningen hensyn til tidsmessige avhengigheter mellom lenkene og trafikkreguleringens virkning på trafikkflyten i et større veinett. I de *operasjonelle (mikro) trafikkmodellene* simuleres hvert enkelt kjøretøy, interaksjonen mellom disse og interaksjonen mellom kjøretøy og infrastruktur. Rutevalgene i trafikksimuleringsmodellene er beregnet ut fra sannsynlighet (stokastisk) for å fange opp variasjonene i trafikantenes adferd. Det betyr at rutevalget i to like simuleringer ikke nødvendigvis blir identisk. For å få et representativt bilde av avviklingsforholdene er det anbefalt å utføre et minimum antall simuleringer. I taktiske trafikkmodeller modellerer bare biltrafikken på vegnettet, ikke forholdet mellom ulike transportmidler.

Etterspørselen beregnes i strategiske modeller

En annen viktig forskjell mellom modelltypene ligger i håndtering av etterspørselen. I strategiske transportmodeller blir etterspørselen etter bilreiser beregnet, mens etterspørselen i taktiske og operasjonelle trafikkmodeller vanligvis er gitt (eksogen) i modellberegningen. Trafikkavviklingsmodellene modellerer ikke reisemiddelvalget, men simulerer kun rutevalgeffekter og da primært for biltrafikk. Kollektivkjøretøyene i trafikkavviklingsmodellene opptar veikapasitet og interaksjon mellom kollektivkjøretøy og øvrig trafikk modelleres slik at kollektivkjøretøyenes effekt på avviklingsforholdet blir fanget opp. Det vil si om de bidrar til kø eller ikke. Ved analyse av en fremtidssituasjon med taktiske eller operasjonelle modeller kan etterspørselen først beregnes i en strategisk transportmodell før reisematrixene tilpasses for beregning i mer detaljerte trafikkmodeller.

Må velge modell ut fra problemstilling

Man må velge verktøy ut fra problemstilling og ønsket detaljeringsnivå i analysen. Ofte trengs flere verktøy for å belyse en problemstilling på flere nivåer. Se tabell 1 for de viktigste forskjellene mellom strategiske transportmodeller og trafikkavviklingsmodeller (meso og mikro).

Tabell 1: Kjennetegn og formål ved ulike modelltyper.

Kjennetegn og formål ved ulike modelltyper	Strategisk	Taktisk (meso)	Operasjonell (mikro)
Typiske transportmodeller i Norge	NTP-modellene: NTM6 og RTM (Tramodby koblet til CUBE) (Oslo har RTM23+ i EMME)	Aimsun, (CONTRAM)	Mikrodelen av Aimsun, SIDRA og VISSIM
Sentral problemsstilling, fokus	Likevekt tilbud - etterspørsel, Overordnede transportstrømmer	Simulerer avviklingsforholdet for biltrafikk i et avgrenset nettverk Samspill mellom bil- og kollektiv	Simulering av enkeltkjøretøyenes bevegelse og deres interaksjon med hverandre og infrastruktur Detaljert vurdering av kryssutforming og trafikkregulering.
Tidsperspektiv	Langsiktig	Mellomsikt	Kortsiktig
Soneoppløsning	Aggregater av grunnkretser i NTM6. Grunnkretser i RTM	Grunnkretser, men ofte må grunnkretser deles i flere delsoner i analyseområdet for å få tilstrekkelig detaljering.	
Sentrale inputdata for etterspørsel	Demografidata, arbeidsplassdata, elevstudieplasser, arealbruk, bom- og parkeringskostnader, inntektsutvikling, transporttilbud og billett-kostnader	Trafikkmatriser for tidsperiode ned mot 15 minutter for bil, gods og kollektivkjøretøy.	
Reiseetterspørsel	Beregner etterspørselsmatriser for bil, kollektiv, gang og sykkel.	Faste trafikkmatriser. Forutsettes input fra strategiske modeller eller estimerte trafikkmatriser basert på trafikktegn.	
Tidsoptøsning	RTM: Reiser per døgn. Delområdemodeller i RTM: Reiser per time	Reiser på 5-15 minutters nivå	
Detaljering av veinettet	Homogen veistrekning representeres med en lenke. Kryss representeres med enkel node med tillatte svingebevegelser og evt. tidstillegg for forsinkelse	Hvert kjørefelt representeres med en lenke. Detaljert representasjon av svingefelt, feltbredde, geometri og evt signalplan	
Styrker	Kan beregne etterspørselseffekter og overføring mellom transportformer	Kan beregne kødannelse og tilbakeblokkeringer ved å simulere interaksjon mellom kjøretøyene.	
Svakheter	Forenklet sammenheng mellom volum og hastighet. Tar ikke tilstrekkelig hensyn til nettverkseffekter i køsituasjoner og kødannelse. Mest egnet å vurdere langsiktige tilpasninger	Etterspørselen er uelastisk. Modellerer primært biltrafikk. Ingen overføring mellom transportformer.	

4.2 Det regionale transportmodellsystemet RTM

Det regionale persontransportmodellsystemet RTM er det mest utbredte modellverktøyet for strategiske transportanalyser i Norge. RTM dekker daglige personreiser opptil 70 km en vei. Omtalen av RTM gir også et utgangspunkt for å belyse egenskaper ved de øvrige modellverktøyene.

Siden første versjon av RTM ble tatt i bruk rundt 2004 har modellsystemet blitt brukt i svært mange utredninger, og det finnes derfor mye dokumenterte brukserfaringer. Teknisk dokumentasjon av RTM blir oppdatert i takt med løpende modellutvikling (Malmin, Arnesen mfl. 2018). En større oppgradering av RTM ble lansert i 2018 som RTM versjon 4. De viktigste egenskapene ved modellen vil bli videreført i versjon 4. Den videre beskrivelsen av RTM er basert på RTM versjon 3, se Knapskog m. fl (2018).

Et tverretatlig samarbeid om regionale- og byområdemodeller

RTM er utviklet av tverretatlig arbeidsgruppe for transportanalyser (NTP-Transportanalyse) for beregning av transportprognoser og effekter av endrete forutsetninger, som transporttilbud, arealbruk, inntektsutvikling og kostnader knyttet til transport. *Fem regionale*

modeller, tilsvarende Statens vegvesens regioninndeling, dekker til sammen hele landet. Et felles modellrammeverk er utviklet for alle regionene, men de ulike regionale modellene er kalibrert mot lokale data for å gjengi det overordnede transportmønsteret for regionen. I tillegg finnes det en rekke byområdemodeller som er uttrekk fra de store regionale modellene. Disse er ofte tilpasset og kalibrert for et mindre modellområde og for beregning av timestrafikk, mens de regionale modellene er kalibrert for å beregne yrkesdøgntrafikk.

Sammensatt av mange delmodeller

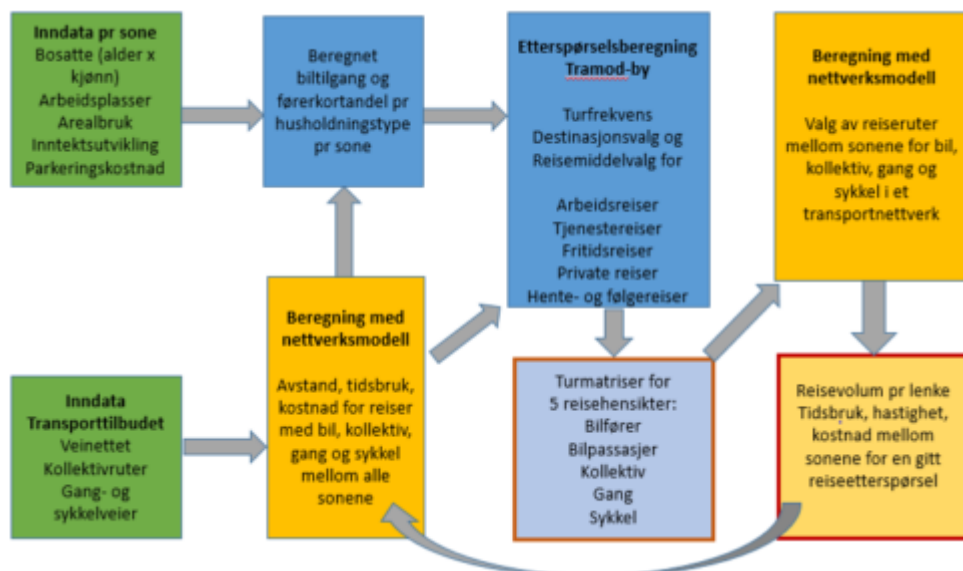
I RTM er etterspørselsmodellen Tramod-by implementert i transportmodellverktøyet CUBE, mens delområdemodellen for Osloregionen (RTM23+) er implementert i EMME, med noe annerledes oppbygging. Mens RTM/CUBE modellene forvaltes av NTP/Statens vegvesen Informasjon fra NTPs arbeidsgruppe for Samfunnsøkonomi og Transportanalyser: (<https://www.ntp.dep.no/Transportanalyser>, forvaltes RTM23+ av Osloregionens samarbeidsorgan PROSAM (Informasjon om PROSAM: www.prosam.org)

Den første versjonen av RTM-systemets oppbygging er grundig beskrevet i Madslien mfl. (2005) i forbindelse med estimering av den første versjonen av RTM.

Etterspørselsberegningen i RTM består i realiteten av beregninger med en rekke delmodeller. En større oppdatering av etterspørselsdelen Tramod-by av RTM i 2012/2013 er dokumentert i Rekdal mfl. (2013).

Beregningsgangen i RTM

Hovedmekanismene i RTM kan forenklet framstilles som vist i De grønne boksene i figur 3, hvor inndata sorteres i grønne bokser i figuren, mens beregninger som foregår med nettverksmodellen er markert med oransje. Beregninger som gjøres i etterspørselsmodellen Tramod-by er markert med blått. Med utgangspunkt i befolkningsdata fordelt etter kjønn og alder modelleres biltilgang og førerkortandel per husholdningstype for hver sone med en egen førmodell (Bilhold- og førerkortmodell). Resultatene fra etterspørselsberegningen og nettverksmodellen er markert med røde rammer. Pilen som peker fra resultatene fra nettverksmodellen tilbake til LoS (Level Of Service)- data indikerer at resultatet av en rutevalgberegning kan føre til endret tidsbruk og rutevalg.



Figur 3: Beregningsgangen i

RTM. Kilde: Knapkog, Hagen, m.fl. (2018)

De grønne boksene i figur 3 viser *inngangsdata* som må tilrettelegges i forkant av en RTM-beregning (reisevanedata fra RVU er ikke brukt direkte som inndata men ligger til grunn for hvordan modellen fungerer og for mange av modellens atferdssammenhenger). En beregning med RTM starter med å produsere matriser som beskriver kvaliteten i transporttilbudet for bil, kollektiv, gange og sykkel gjennom beregning av LoS matriser. Det gjøres ved hjelp av rutevalgberegninger i en nettverksmodell. Disse LoS-matrisene er input til etterspørselsberegningen i RTM sammen med sonespesifikke og sosioøkonomiske inndata på grunnkretsnivå.

Forskjellige modeller for ulike reisehensikter

Etterspørselsmodellen Tramod-by består i realiteten av en rekke delmodeller som tar seg av beregning av turfrekvens, biltilgang og førerkortandel i befolkningen. Den totale reiseetterspørselen dekkes av fem reisehensiktsmodeller (arbeidsreiser, tjenestereiser, hente- og leverereiser, private reiser og fritidsreiser). I hver av reisehensiktsmodellene beregnes det fordeling av turer til destinasjoner og reisemiddelfordeling. Fra RVU-dataene finner vi at folks reiser ofte inngår i en reisekjede, der blant annet valg av reisemiddel er avhengig av hva som er blitt valgt i foregående reise. Dette tar etterspørselsmodellen Tramod-by hensyn til ved å modellere reisekjeder med opptil tre reiser.

Turmatriser pr reise og per transportmiddel

Resultatene fra en beregning med Tramod-by er én turmatrise per reise og per transportmiddel, med beregnet antall reiser mellom alle sonepar i modellområdet. Etterspørselen mellom sonene fordeles videre i transportnettverket ved hjelp av rutevalgberegninger med en nettverksmodell. Med utgangspunkt i en felles kollektivmatrise blir valg av kollektiv transportform bestemt i beregningen av (nettutleggingen for kollektivtransport).

Matrisen med bilturer fordeles på de ulike veglenkene i vegnettet gjennom en rutevalgberegning for bilturer. Tidsbruken for turene vil avhenge av mengden trafikk på de

ulike veglenkene. Endringer i etterspørselen kan gi nye reisetider (endrete LoS-data) som igjen danner grunnlag for en ny runde med etterspørselsberegning med påfølgende nye turmatriser. Denne iterative prosessen gjentas til man kommer fram til et nivå på biltrafikken som ikke gir andre reisetider enn i forrige iterasjon. Forenklet sagt betyr det at bilistene ikke vil kunne redusere sine generaliserte reisekostnader ved å endre veivalg. Da har vi en situasjon hvor etterspørselen og tilbudet er i likevekt. Tradisjonelt søkes det en likevektssituasjon i modellen ut i fra trafikkavvikling på veinettet. Tilsvarende krav til likevekt kan settes for kollektivtransport også, dersom man tar hensyn til kapasitetsproblemer i kollektivtilbudet. Etterspørselseffekter av trengsel om bord er per dags dato ikke implementert i RTM systemet, men det vil bli tatt hensyn til i RTM versjon 4.

Forbedringer i RTM versjon 4

Andre forbedringer av RTM versjon 4 er blant annet at modellering av turkjedene også tar hensyn til at rundturer kan starte fra arbeidsplassen. Modellering av sykkeltrafikk er forbedret med innføring av estimerte sykkelhastigheter avhengig av blant annet sykkelinfrastruktur, topografi og kjønn, men foreløpig ikke på ulike typer syklist (Flügel mfl. 2017).

4.3 Den nasjonale persontransportmodellen NTM6 - lange reiser

De lange personreisene over 70 km hver vei beregnes med den nasjonale persontransportmodellen NTM6 (Rekdal mfl. 2018). I denne modellen beregnes innenlands reiser mellom ca 1600 soner for transportmåtene fly, tog, båt/ferge og buss, i tillegg til bilfører og bilpassasjer. Etterspørselsmodellen for reiser over 70 km er estimert ut fra reisevanedata for lange reiser etter samme estimeringsteknikk som er presentert i kapittel 2. Reisematriser for de lange reisene, beregnet med NTM6, inngår som faste matriser i RTM-systemet slik at nettfordelingen i RTM skal fange opp den totale personbiltrafikken. NTM6 forvaltes av arbeidsgruppen NTP Transportanalyser og modellen er implementert i transportmodellverktøyet CUBE (Steinsland og Madslien 2009).

4.4 Den nasjonale godsmodellen

Transportetatene og Avinor har også utviklet en nasjonal modell for all godstransport i Norge og til og fra Norge. Modellsystemet består av et sett basismatriser, kostnadsfunksjoner og en detaljert logistikkmodell for valg av transportløsning. Basismatrisene og kostnadsfunksjonene er input til logistikkmodellen, som er en selvstendig, kjørbare applikasjon utviklet av det nederlandske firmaet Significance. Modellen kjøres normalt gjennom et brukergrensesnitt utviklet i CUBE.

Skiller mellom varegrupper

Logistikkmodellen beregner transportløsning for 39 aggregerte varegrupper. For hver varegruppe er det etablert en basismatrise som angir hvor mye gods som skal transporteres mellom alle soner i modellen. Dette vil si at den totale mengden gods i modellen er konstant for et gitt sett av basismatriser. Basismatrisene er etablert på grunnlag av et sammensatt statistikkgrunnlag med SSBs Varetransportundersøkelse (VTU) som viktigste datakilde. Matrisene kan framskrives til ulike prognoseår ved bruk av likevektsmodellen PINGO.

Transportkostnader som input

Øvrige sentrale inndata til logistikkmodellen er filer med informasjon om transportkostnader, terminalkostnader og godsets verdi. Ved hjelp av en nettverksmodell implementert i CUBE Voyager genereres matriser med transporttid og distanse mellom modellens ulike soner. 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 to gitte soner (Madslien mfl. 2015).

Tunge kjøretøy inn i RTM

I RTM-modellene er det behov for å synliggjøre den totale trafikkbelastning på veinettet. Det er derfor vanlig å inkludere en fast matrise som representerer de tunge kjøretøyene i RTM-systemet. Denne matrisen med godskjøretøy har tradisjonelt ikke vært basert på en beregning med nasjonal godsmodell, men det er delvis tilrettelagt rutiner for å produsere en godsmatrise til RTM basert på en modellberegning i godsmodellen. Matrisene fra godsmodellen er imidlertid foreløpig ikke verifisert mot trafikktegn og implementert i RTM-systemet.

5 Supplerende modellverktøy og metoder

RTM-systemet og trafikkmodeller omtalt i kapittel 3.1 er komplekse beregningsmodeller hvor det ofte kreves et stort omfang av detaljerte inndata samtidig som det er en høy brukerskel. Det har derfor også blitt utviklet andre modellverktøy hvor beregninger kan gjøres på en enklere og raskere måte. Til tross for at RTM-modellene forsøker å fange opp en rekke forhold knyttet til transportvalg, kommer den til kort for noen problemstillinger, for eksempel effekter av kvalitative forhold knyttet til kollektivtransport. Alternative modellverktøy og metoder har blitt utviklet som et supplement til analyser med RTM-modellene. Dette kapittelet presenterer et utvalg av supplerende og alternative modellverktøy og de viktigste kjennetegn ved disse.

5.1 Transportmodellen for tog - Trenklin

Ved modellering av kollektivtransport mangler RTM noen viktige elementer, for eksempel effekter av trengsel, forsinkelse om bord og betydningen av komfort. **Trenklin**, utviklet av Jernbanedirektoratet, er et modellverktøy som tar hensyn til togtrafikantenes tilpasning til en ruteplan og til trengselen på de enkelte avganger på en mer detaljert måte enn det som er mulig med RTM (Ranheim 2017). I motsetning til i RTM, hvor etterspørselen blir beregnet ved hjelp av inndataene, må referansetrafikken (antall togreiser mellom togstasjonene) legges inn som input til Trenklin. NSBs billettstatistikk utgjør en sentral datakilde for referansetrafikken. Trafikkveksten i modellen er gitt av forutsatt befolkningsvekst, og etterspørselseffekter beregnes ved hjelp av en rekke elastisiteter (respons på ulike kvaliteter ved tilbudet).

Trenklin modellerer kun etterspørselseffekter for togmarkedet og ikke overføring mot andre

transportformer. I Trenklin beskrives tilbudet langt mer detaljert enn i RTM, med avgangstidspunkter, togmateriell pr avgang, samt passasjerkapasitet fordelt på stående og sittende. Dette gjør at modellverktøyet er egnet til å analysere effekter av detaljerte tilpasninger av ruteplaner. Tidsverdiene i Trenklin varierer med trengselsnivå om bord, og antall togreiser per togavgang er et resultat av trafikantenes tilpasninger ut i fra ønsket (estimert) ankomsttidspunkt, trengselsnivå om bord, rutetilbudet og ventetid gitt av rutetilbudet.

En gjennomgang av Trenklin gjennomført av Flügel mfl. (2016) konkluderer med at Trenklin er godt egnet til detaljert ruteplanlegging for tog og til å se på effekter av ruteplaner der reisemønsteret og rutestrukturen blir lite endret. Med god kontroll på referansetrafikken, kan Trenklin gi et godt utgangspunkt for å beregne trafikanthnyttet som følge av ruteendringene. På grunn av forutsetningen om uendret reisemønster er imidlertid ikke Trenklin egnet til å analysere store endringer i togtilbudet som for eksempel helt nytt togtilbud eller opprettelse/nedleggelse av togstasjoner.

5.2 RUTERs markedspotensialmodell MPM23

Osloregionens kollektivselskap RUTER har siden 2004/2005 gjennomført en årlig markedsundersøkelse blant reisende i Oslo og Akershus (MIS-undersøkelsen) med om lag 6000 intervjuer årlig (PROSAM 2013). Datasettene fra 2014-2016 har dannet grunnlag for en regnearkbasert modell for transportmiddelvalg kalt **Markedspotensialmodell MPM23** (Flügel mfl. 2015, Flügel og Jordbakke 2017).

MPM23 ble etablert for å belyse hvilke forhold som påvirker transportmiddelvalget for reiser i Oslo og Akershus på bakgrunn av valgsannsynligheter på individnivå. Beskrivelse av transporttilbudet (LoS-data) for rush og utenom rush, beregnet med delområdemodellen for Osloregionen (RTM23+), er input i MPM23.

I motsetning til i RTM, hvor etterspørselsmodellene behandler kollektivreiser samlet, beregner MPM23 også markedsandeler fordelt på driftsarter. I MPM23 versjon 2 er tog, T-bane, trikk, buss, kombinasjoner med tog og kombinasjoner med buss/trikk/bane, samt park and ride (bil/tog) implementert som mulige valg i tillegg til bil (bilfører og bilpassasjer), gange og sykkel. Andre variabler som inngår i MPM23 er bilhold og førerkortinnehav, tilgang til gratis parkering, tilgang til innfartsparkering og tilfredshet med kollektivtilbudet. Fordeler med MPM23 er at den er regnearkbasert, har lav brukerterskel og beregner markedsandeler raskt. MPM23 er imidlertid avgrenset til å analysere markedsandeler i Oslo og Akershus og predikerer verken antall reiser, destinasjonsvalg eller rutevalg. Det gjør at MPM23 kun er egnet til å studere overordnede effekter av endringer der reisemønsteret ikke blir vesentlig påvirket.

5.3 Stratmod-modellen (UA-modellen)

STRATMOD er utviklet av Urbanet Analyse AS som et supplerende planverktøy til RTM-modellene for å utføre strategiske analyser av virkemiddelbruk rettet mot byområder. Ideen bak Stratmod er at etterspørselseffekter av kvalitative faktorer ved kollektivtransport ikke er tilstrekkelig ivarettatt av RTM. Trengsel om bord, forsinkelser og komfort er eksempler på

slike faktorer. Basert på resultater fra RTM, beregner Stratmod tilleggseffekten på etterspørselen av endring i kvalitative forhold. Betydning av tilrettelegging av sykkelinfrastruktur, verdsetting av køtid og mulighet til å bruke lokale tidsverdier er forhold som er tilrettelagt i Stratmod. Det konseptuelle rammeverket for modellverktøyet er beskrevet i Nordheim mfl. (2017), og det utarbeides en egen brukerveileder for modellen. Som en del av utviklingen ble det også utført flere caseanalyser. (Dokumentasjon av utvikling av Stratmod og testcase er samlet under denne linken:

<https://urbanet.no/publikasjoner/strategisk-modell-for-baerekraftig-bytransport>).

Stratmod tar utgangspunkt i resultater fra turmatriser og LoS-data beregnet med RTM, aggregert på storsonenivå. Basert på såkalte Stated Preference undersøkelser (SP-undersøkelser), priselastisiteter fra litteraturen, og detaljerte registreringer av forsinkelse og linjebelegg fra RUTER i Oslo er det utviklet en rekke vektorer. Vektene brukes for å beregne andeler av de generaliserte reisekostnadene (GK) (gitt av LoS-data) som skal reflektere betydningen av de kvalitative faktorene. Alle inputdata og analyser med Stratmod holdes på storsonenivå (matriseform), normalt 40-50 storsoner per byområde.

Etterspørselseffekter av tiltak beregnes ved å endre på GK-elementer på storsonenivå direkte, i motsetning til RTM hvor endringer i transporttilbudet kodes i transportnettverket og endring i rutevalg beregnes på bakgrunn av det.

Beregning på storsonenivå gjør at Stratmod først og fremst er et verktøy for å belyse betydningen av ulike strategier på et meget overordnet nivå. I og med at Stratmod er et forholdsvis nytt verktøy, finnes det foreløpig lite brukserfaring og evaluering av metodikken. Det metodiske grunnlaget er ikke nærmere vurdert i denne verktøygjennomgangen.

5.4 Et arealdataverktøy (ADV)

Bosettingsmønsteret og fordeling av arbeidsplasser er en premissgivende input i transportmodellberegninger med RTM-systemet. Ved beregning av scenarier vil fremtidig arealbruksmønster være et sentralt grunnlag for å bestemme sannsynlig transportmønster og transportomfang. For å få et mest mulig presist bilde av fremtidig reisemønster i et byområde er det derfor viktig at arealinputen til transportmodellen gjenspeiler forventet fremtidig arealbruk.

Det er kommunene, i kraft av sin rolle som planmyndighet, som har best kunnskap om fremtidig arealbruk og som kan styre arealutviklingen gjennom juridisk bindende arealplaner etter plan- og bygningsloven (PBL). Kommunene kan også regulere parkering etter PBL, og gjennom parkeringsforskriften. Koblingen mellom innholdet i kommunenes arealplaner og transportetatens transportmodellverktøy har tradisjonelt vært svak (Hagen mfl. 2018).

Gjennom FoU-samarbeidet mellom KMD, KS, Jernbanedirektoratet, Miljødirektoratet og Statens vegvesen; «Karakteristika I Transportmodeller» (KIT) det er det blitt utviklet et arealdataverktøy til de regionale transportmodellene (RTM). Basert på SSB-data og gjeldende arealplaner gir arealdataverktøyet (ADV) estimater for fremtidig antall bosatte, ansatte og besøkende i hver grunnkrets. I ADV fordeles forventet vekst på grunnkretser der arealplaner tillater aktuelle typer utbygging. Det gjøres også en omfordeling av bosatte, ansatte og reiser til virksomhetene, slik at kretsene med størst tilgjengelighet via transportsystemet

(generaliserte reisekostnader beregnet med RTM) får en relativt større andel av veksten. Kommunene kan også legge inn data om pris for- og tilgang til parkering til bruk i RTM.

Se [her](#) for innføring i arealdataverktøyet ADV-RTM.

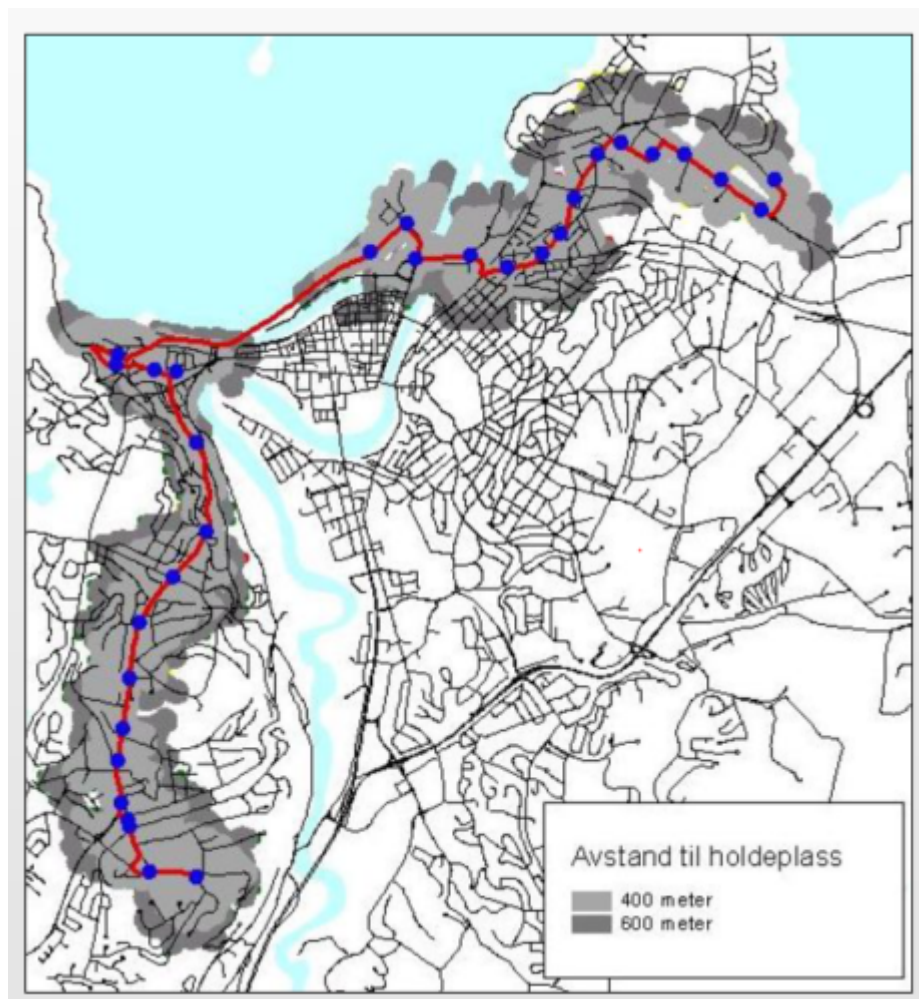
Her er linken til verktøyet: [ADV-RTM \(arealdata.no\)](http://www.adv-rtm.no).

Se også tiltaket: [Arealdataverktøy for regional transportmodell](#).

5.5 ATP-modellen

ATP-modellen (ATP modellen forvaltes gjennom et brukernettverk og verktøyet har en egen nettside med informasjon: <http://www.atpmodell.no>) er et GIS-basert planleggingsverktøy som kan brukes til å visualisere sammenheng mellom arealbruk og transport. ATP-modellen tar i bruk detaljerte data om antall bosatte og ansatte på koordinatnivå og transporttilbudet beskrives med nettverkinformasjon for gående, syklende, kollektiv og bil. I ATP-modellen finnes det tilrettelagte rutiner for å beregne transporttilgjengelighet med de ulike transportmidlene til og fra utvalgte målpunkter. Ved å koble på RVU-data kan metodikken brukes til å vurdere trafikkgrunnlaget (potensialet) ved ulike lokaliseringalternativer. En egen modul rettet mot handelsanalyse er også utviklet.

Et viktig kjennetegn ved ATP-modellen er at den *ikke* beregner antall reiser som et resultat av estimerte reisevalg, men en vurdering av *potensielt* antall reiser gitt av befolkningsmønsteret og forutsetninger om reisevaner (fra RVU). ATP-modellen har en egen sykkelmodul hvor sykkeltid (hastighet) beregnes basert på topografi, mens reisetid for bil og kollektiv er basert på enkle forutsetninger om korteste vei og standard fart uten hensyn til kø og kapasitetsbegrensninger. ATP-modellen utnytter styrken i et GIS-verktøy der resultatene er kartbasert og godt visualisert. ATP-modellen kan gi et godt bilde av hvordan transporttilgjengelighet påvirkes av ulike lokaliseringer, for eksempel ulike lokaliseringalternativer for et sykehus. I tillegg har ATP-modellen blitt brukt til å beregne potensielle trafikkstrømmer for syklende og gående, der analyser med detaljerte data er fordelaktig for å få fram de lokale forskjellene. Analyse av hovedsykkelveinett, vurdering av skolekrets og vurdering av holdeplasslokalisering (se figur 4) er eksempler på noen bruksområder.



Figur 4: Bruk av ATP-modell til

vurdering av tilgjengelighet til holdeplasser langs en bussrute i Trondheim. Kilde: Innlegget «Om ATP-modellen, nyheter og ulike eksempler på praktisk bruk» fra Brukernettsmøte ATP-modellen, 10. mars 2016. Tilgjengelig via <http://www.atpmodell.no>

5.6 Aktivitets/agentbaserte transportmodeller

Aktivitetsbaserte modeller er nyere modelltyper fundert på en helt annen teoretisk tilnærming enn øvrige modeller. Istedenfor å modellere reiser, er det «dagsplanen» for å gjennomføre planlagte aktiviteter for hvert individ (agent) som er det *styrende* for deres reisebehov. Reisevanedata danner grunnlag for å etablere slike dagsplaner for en populasjon, og individenes aktiviteter og reiser simuleres på et detaljert nivå gjennom en hel dag. Rutevalget i slike modeller inngår ofte som en integrert del av etterspørselsberegningen.

I følge Flügel m.fl (2014) kan slike modeller gi tilfredsstillende beregning av køsituasjoner, samtidig som etterspørselseffekter som følge av trafikkavviklingsforholdet blir ivaretatt. Ved å simulere enkeltpersoners reisebehov, tar slike modeller hensyn til at trafikantene tilpasser sin adferd ut i fra erfaring med trafikkforholdet fra dag til dag (fra en iterasjon til den neste i en beregning). En av tilpasningsmulighetene er valg av reisetidspunkt. Dette er forhold som så langt ikke er tilstrekkelig håndtert verken i strategiske eller mer detaljerte trafikkmodeller. Det er imidlertid et utviklingsarbeid i gang for å få til dette i RTM.

Det finnes foreløpig lite brukserfaringer og kompetanse om slike modeller i Norge, men pilotmodeller i **MATSim** er etablert for Oslo og Trondheim. Oslo-modellen for Oslo er testet ut for etterspørselseffekter av en planlagt sykkelekspressvei mellom Lillestrøm og Bryn (Flügel

og Ævarsson 2018). Foreløpige erfaringer med MATSim er at den gir logiske tilpasninger, men at det trengs mer brukserfaring og tester for å lære mer om modellens responsevne knyttet til ulike tiltak. Kalibrering av slike modeller kan også være krevende.

6 Modellverktøy i analyser for miljøvennlig transport

Et viktig bruksområde for transportmodeller er virkningsberegninger rettet mot miljøvennlig transport og klimagassutslipp på ulike nivåer. Per dags dato er det norske transportsystemet NTM6 og RTM mest relevant dersom tiltakene påvirker antall reiser, reisemønster (målpunkt for reisene) og transportmiddelvalg. Delområdemodeller for RTM har blitt brukt i en rekke virkemiddelanalyser, både til analyse av enkeltstående tiltak og av sammensatte virkemiddelpakker.

Byutredningene

I 2017 ble det gjennomført Byutredninger (se [Byvekstavtaler og bypakker](#)), for åtte byområder, hvor RTM ble brukt til å synliggjøre hvordan nullvekstmålet kan nås i byområdene gjennom ulike kombinasjoner av tiltak (Vegdirektoratet 2018). Et spekter av tiltak ble modellberegnet og antall kjøretøykilometer innenfor et definert avtaleområde for hvert byområde ble sammenlignet med antall kjøretøykilometer for «dagens situasjon» i modellen. Eksempler på tiltak som ble modellberegnet er:

- Arealbruksscenarier med ulike arealbruksstrategier (trendframskriving, konsentrert befolkningsvekst eller spredt utvikling).
- Parkeringskostnader for arbeidsreiser og fritidsreiser
- Andel av arbeidsreiser med tilgang til gratis parkering på arbeidsplassen
- Kollektivtilbudet, endring av rutestruktur og frekvens
- Sykkeltilbud, infrastrukturtype og nye lenker
- Utbygging av nye veiløsninger
- Trafikantbetaling som vegprising og bompenger
- Virkemiddelpakker med kombinasjoner av tiltakene

Endringer på sone- eller lenkenivå

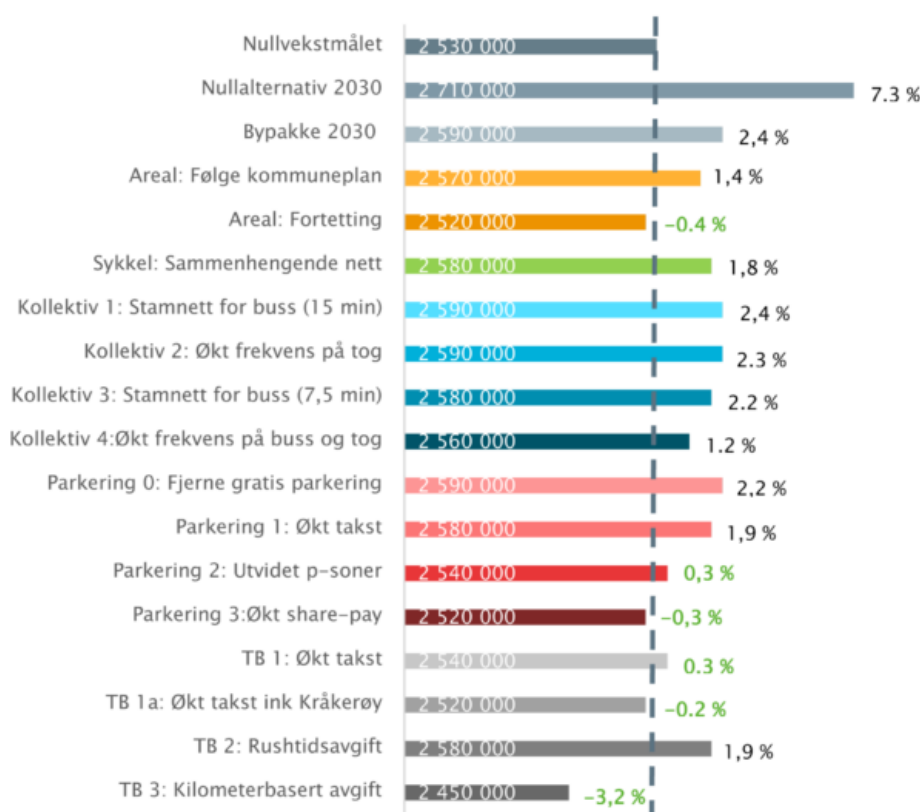
Endringer i arealbruk og parkeringsforhold spesifiseres på sonenivå (grunnkretser i RTM), mens endringer i transporttilbudet kodes på lenkenivå (bil, gang og sykkel) og linjenivå for kollektivtransport. Bompenger kan enten spesifiseres på lenkenivå eller på sonenivå (dersom bomringene er tette). Ved vegprising legger man på en distansebasert takst på alle lenker i veinettet som omfattes av vegprisingsordningen. RTM er lagt opp til å beregne timetrafikk for rush og utenom rush. Ved å legge inn egne rushtidstakster får man beregnet virkningen av tidsdifferensierte takster på en forenklet måte. I disse beregningene tar man ikke hensyn til endring av reisetidspunkt på grunn av tidsdifferensierte bomtakster eller trafikantbetaling.

Pedagogiske framstillinger er nødvendig

Med ulik «dosering» av enkelttiltakene og ulike kombinasjoner av tiltakene kan det fort bli mange scenarier. Fra en modellberegning med RTM genereres det store mengder data på et

detaljert nivå. Å lage pedagogiske framstillinger av modellresultatene som er relevant for problemstillingen og beslutningsnivået er derfor en viktig oppgave.

I figur 5 vises et eksempel fra byutredningen for Nedre Glomma. Utkjørte kjøretøykilometer ved hvert enkelttiltak er her sammenstilt med nullvekstmålet for avtaleområdet. Størrelsesorden på effekten av tiltakene vist i figur 5 er gitt av analyseforutsetningene i det konkrete analysearbeidet i byutredning for Nedre Glomma og de stedlige forholdene som gjelder for Nedre Glomma. Se Statens vegvesen (2017) for nærmere omtale av utforming av tiltakene.



Figur 5: Effekt av

enkelttiltakene på utkjørte kjøretøykilometer sammenlignet med nullvekstmålet for avtaleområdet i Nedre Glomma. Endring i prosent. Kilde: Byutredning Nedre Glomma. Hovedrapport. Statens vegvesen Region øst. Desember 2017.

Tiltak og tiltakspakker for redusert klimautslipp

Kombinert bruk av nasjonal- og regional transportmodell kan belyse klimaeffekter av ulike virkemidler på et mer overordnet nivå. Både i Tiltaksanalyser i forskningsprosjektet Transport og miljø (TEMPO), og en analyse av transportomfang og klimagassutslipp for NTP (Madslien og Kwong 2015) ble nasjonal og regionale transportmodeller brukt til å belyse effekter av enkelttiltak og tiltakspakker på et policy-nivå, også tiltak som er urealistiske. Formålet var å beregne en sannsynlig *størrelsesorden* og *retning*, uten å gå i detalj på hvordan tiltakene slår ut på et mer geografisk avgrenset område. Effekten på lange personreiser ble beregnet med nasjonal transportmodell NTM6 i Madslien og Kwong (2015). Tiltakene som ble vurdert er vist i tabell 2.

Endringene er implementert på nasjonalt nivå i NTM6 og gjelder for hele landet. Tiltakenes virkning i prosent på transportarbeidet i analyseåret 2028 er vist i tabell 3. Sammenstillingen

demonstrerer først og fremst *styrkeforholdene* mellom tiltakene og deres effekter på ulike transportformer.

Tabell 2: Tiltak og tiltakspakker som ble analysert med nasjonal transportmodell NTM6. Kilde: Madslien og Kwong (2015).

Alternativ	Beskrivelse
1 Referanse 2014/2028	Referansealternativet 2014 og 2028
2 Bom +50 %	Alle bomstasjoner får 50 % økning i bomsatsene
3 Drivstoff +50 %	Drivstoffprisene for privatbil økes med 50 %
4 Drivstoff og bom +50 %	Både bomsatser og drivstoffpris økes 50 %
5 Kilometerkost +50 %	Kilometerkostnadene for privatbil øker 50 %
6 Togbillett -50 %	Prisen på togbilletter halveres
7 Bussbillett -50%	Pris på bussbilletter halveres
8 Kombi1	Kombinasjonsalternativ 1: 50 % økning av bomsatser, 50 % lavere pris buss og tog, 25 % økt pris fly, 10 % redusert reisetid tog.
9 Kombi3	Kombinasjonsalternativ 3: Som Kombi 1, men også 50 % økt drivstoffpris bil. utgjør ca. 40 0/0 av kilometerkostnadene for privatbil

Tabell 3: Endring i transportarbeid for lange personreiser i beregningsår 2028 sammenlignet med referanseår 2028 basert på tiltakene presentert i tabell 6. Kilde: Madslien og Kwong (2015).

Endring fra Ref. 2028	Bilfører	Bilpass.	Buss	Tog	Båt	Fly	SUM	Koll, eks.fly
Referanse 2028	37.5%	25.9%	15.5%	18.7%	6.9%	18.9%	26.6%	17.2%
Bom +50 %	-0.9%	-0.9%	0.8%	0.5%	1.2%	0.3%	-0.3%	0.6%
Drivstoff +50 %	-4.0%	-3.1%	3.3%	2.8%	3.9%	2.1%	-1.2%	3.0%
Drivstoff og bom +50 %	-4.8%	-4.0%	4.1%	3.4%	4.7%	2.4%	-1.5%	3.7%
Kilometerkost +50 %	-10.5%	-8.2%	8.9%	7.6%	10.4%	5.6%	-3.0%	8.1%
Togbillett -50 %	-1.3%	-1.3%	-22.5%	48.2%	1.4%	-1.5%	1.5%	18.4%
Bussbillett -50%	-1.5%	-1.5%	65.3%	-26.2%	-11.8%	-1.5%	0.4%	11.9%
Kombi1	-2.4%	-2.0%	19.0%	60.2%	-2.0%	-24.4%	-1.7%	42.4%
Kombi3	-6.4%	-5.2%	22.8%	64.5%	2.1%	-22.8%	-2.8%	46.5%

Effekt for korte personreiser

Effekten for korte personreiser ble også analysert i Madslien og Kwong (2015). Et sett av tiltak gjengitt i tabell 4, ble analysert med en delområdemodell for Bergen (DOMBergen). I motsetning til analyser med NTM6 er effekter på tiltakene for et byområde avhengig av eksisterende arealbruksmønster og transporttilbudet for modellområdet, og er ikke uten videre overførbart til andre byområder. Enkelte alternativer er også stiliserte og ekstreme, som for eksempel at ingen eier bil i soner med bybanebetjening eller at inntektsutviklingen er null fra 2014 til 2028. De stiliserte alternativene gir likevel en indikasjon på hvordan transportomfanget kan endres ved ulike tiltak, uten at det diskuteres hva som skal til for å

komme dit. Det er varierende grad av realisme rundt disse beregningene, men denne analysen demonstrerer hvilke analysemuligheter som finnes i RTM.

Tabell 4: Oversikt over tiltak som ble analysert med delområdemodellen RTM for Bergensområdet i Madslien og Kwong (2015).

1	2014	Referanse 2014
2	2028	Referanse 2028
3	Kmkostnad +50%	Kilometerkostnad for bil: +50 % for alle reisehensikter
4	Kollektivtakst +50%	Kollektivtakst: - 50 % i hele modellområdet
5	Parkering1	Flat parkeringskostnad i hele modellområdet: 150 kr/dag for arbeidsparkering, 30 kr/time for korttidsparkering. Alle arbeidstakere betaler fullt for arbeidsparkering (dvs ingenting dekket av arbeidsgiver). Ingen parkeringskostnad på bosted.
6	Parkering2	Differensierte parkeringskostnader: 150 kr/dag for arbeidsparkering og 30 kr/time for korttidsparkering i Bergen kommune. Andre kommuner: 75 kr/dag for arbeidsparkering og 15 kr/time for korttidsparkering. Arbeidstakere betaler fullt for arbeidsparkering. Ingen parkeringskostnad på bosted.
7	0-vekst	Tilnærmet null økonomisk vekst fra 2014 til 2028, dvs. at det forutsettes uendret realdisponibel inntekt/privat konsum fra 2014. Påvirker bilhold/biltilgang i modellen.
8	Null Bilhold	Null bilhold i et utvalg grunnkretser med bybanestasjon (fra sentrum til og med Nesttun) + Indre Arna (15 grunnkretser)
9	Arealtog/Knutepunkt	All befolkningsvekst fra 2014 til 2028 i hele modellområdet er lagt til et utvalg grunnkretser med bybanestasjon (fra sentrum til og med Nesttun) + Indre Arna (til sammen 15 grunnkretser). Befolkningen i disse grunnkretsene øker fra 15 659 til 94 116.
10	Altarealtog/knutepkt_ NullBilhold	Kombinerer 8 + 9 (dvs all befolkningsvekst til 15 knutepunkter og null bilhold i disse grunnkretsene)
11	Drivstoff +50%	Drivstoffkostnad for bil: +50 %
12	Drivstoff50_Altareal/ knutepkt	Kombinerer 9 + 11 (all befolkningsvekst til 15 knutepunkt og drivstoffkostnad opp 50 %)

Tabell 5: Prosentvis endring i transportarbeid som følge av tiltakene i tabell 4. Sammenlignet med referanse2028. 2028 Ref er sammenlignet med referanse 2014. Kilde: Madslien og Kwong (2015).

		Bilfører	Bilpass.	Buss	Båt	Tog	Bybane	Sykel	Gang	Totalt	Tot. koll
2	2028 Ref	20.8%	7.5%	9.8%	13.9%	13.7%	5.1%	0.9%	5.5%	16.1%	9.8%
3	Kmk50	-18.5%	-15.4%	3.8%	2.3%	9.2%	6.2%	10.4%	2.5%	-11.2%	4.1%
4	Kolltakst50	-1.2%	-2.4%	14.3%	2.9%	18.0%	25.8%	-7.5%	-2.4%	3.1%	14.8%
5	Park1	-20.2%	35.4%	22.9%	11.2%	23.4%	42.7%	104.9%	14.1%	-3.2%	23.6%
6	Park2	-17.0%	27.1%	19.0%	7.0%	20.2%	40.5%	85.1%	11.8%	-2.9%	19.8%
7	Ovekst	-4.2%	4.9%	2.5%	0.9%	2.2%	6.0%	10.1%	4.0%	-1.5%	2.6%
8	NullBH	-2.0%	2.1%	0.4%	0.1%	2.5%	20.7%	5.6%	2.1%	-0.7%	1.2%
9	Altarealtog	-6.9%	-0.4%	-11.1%	-20.3%	2.2%	77.6%	8.1%	10.0%	-5.8%	-7.4%
10	Altareal_ NullBH	-13.8%	7.0%	-9.6%	-20.2%	12.8%	144.7%	25.3%	17.1%	-8.3%	-3.2%
11	Driv50	-8.7%	-7.6%	1.7%	0.9%	4.1%	2.8%	4.7%	1.1%	-5.4%	1.8%
12	Driv50Altareal	-14.7%	-7.5%	-9.6%	-19.6%	6.3%	81.0%	12.3%	11.1%	-10.6%	-5.8%

7 Kostnader

Vi har ikke her gått inn på hva en modellanalyse kan koste. Det avhenger av hva som ønskes beregnet, hva som finnes av foreliggende data og av en rekke situasjonsbetingede faktorer.

Generelt øker behovet for inndata øker med økende detaljeringsgrad i modellberegningene. Det gjør at oppstartskostnaden kan være nokså stor der modellgrunnlaget ikke er etablert fra før. (Hagen mfl. 2018).

8 Muligheter og utfordringer

Kompleksiteten og detaljeringsgrad i RTM modellene har økt i takt med at stadig kraftigere datamaskiner har kommet på markedet. Økt detaljeringsgrad medfører at omfanget av inndata vokser, men effektivisering av datainnhenting fra datakilder som Nasjonal vegdatabank og Nasjonal database for rutedata kan gjøre det enklere å tilrettelegge inputdata til modellanalyser.

Utvikling av RTM har i senere tid hatt økende fokus på å forbedre modellering av miljøvennlige transportformer i byområder og utforsker modellbruk som fremmer miljøvennlig transport. Dette har også bidratt til økt kompleksitet i RTM, noe som fører til at modellanalyser med RTM er ressurskrevende å gjennomføre og er forbundet med høy brukerskel.

I en ny kartlegging av bruk av transportmodeller i byutredningene 2017 er det også funnet at manglende modellkompetanse fører til at beslutningstakere og andre interessenter synes det er krevende å forholde seg til hvilke modellanalyser som er relevant og hvordan modellresultatene skal tolkes og formidles (Hagen mfl. 2018).

Som en motvekt til de tunge RTM modellene er det blitt utviklet flere supplerende modellverktøy i de senere årene. Noen av disse er motivert utfra behovet for et grovere, enklere modellverktøy som kan gi overordnede resultater raskt, mens andre har konsentrert seg om å lage modellverktøy rettet mot deler av transportmarkedet på en mer sofistikert måte. Dokumenterte brukserfaringer på flere av de nyere modellverktøyene er foreløpig begrenset. Det kan derfor være utfordrende å skaffe oversikt over hvilke modellverktøy er relevante for ulike analysebehov.

Styrker og svakheter ved ulike modeller

Tabell 6 beskriver de viktigste kjennetegn ved de modellverktøy som er omtalt i tiltaket. Sammenstillingen er ikke uttømmende og fanger ikke nødvendigvis opp alle aspekter i ethvert analysebehov, men kan være en start.

Tabell 6: Oppsummering av modellverktøyene omtalt i tiltaket og deres viktigste kjennetegn.

Modell	Styrker	Svakheter
---------------	----------------	------------------

Strategiske transportmodeller, RTM, NTM6	Beregner etterspørselseffekter på alle transportformer som følge av endringer i infrastruktur og andre sentrale forutsetninger.	Modellerer ikke nettverkseffekter av kødannelse. Tiltaket bør være av et visst omfang for å ha noe effekt. Valg av reisetidstidspunkt er ikke en del av modelleringen.
Taktiske/operasjonelle trafikkmodeller, Aimsum, VISSIM	Bedre modellering av avviklingsforhold og reisetid i køsituasjoner og interaksjon mellom kjøretøyene. Detaljert vurdering av kryssutforming og trafikkregulering	Etterspørsel etter bilreiser er uelastisk. Primært et modellverktøy for å studere trafikkavvikling for bil. Høy detaljering av infrastruktur. Er ikke egnet til å dekke et stort modellområde
Trenklin	Detaljert beregning av etterspørsel etter togreiser på enkelte togavganger. Etterspørselen påvirkes av trengsel om bord, ventetid, rutetilbudet og ønsket ankomsttidspunkt. Trafikkvekst beregnes med elastisiteter med utgangspunkt i stasjon-til-stasjonsmatrise for dagens situasjon (referansetrafikken).	Beregner kun effekter for togmarkedet. Forutsetter at tiltakene ikke påvirker reisemønsteret i referansetrafikken. Ingen overføring til andre transportformer. Ikke egnet til å vurdere helt nye tilbud, men godt egnet til å vurdere mindre tiltak på eksisterende ruteplan.
MPM23	Beregner endrete markedsandeler for alle transportformer, også fordelt på ulike kollektivarter og kombinerte kollektivreiser på en rask måte.	Ikke en fullverdig transportmodell. Gir ikke antall reiser, rutevalg eller endret destinasjonsvalg. Foreløpig kun implementert for Oslo og Akershus.
Stratmod	Et supplerende modellverktøy for RTM. Metode for å vurdere virkemidler rettet mot miljøvennlige transport ved å beregne tilleggseffekter som ikke dekkes like godt av RTM i dag (for eks. trengsel og forsinkelse ved kollektivtransport, sykkeltilrettelegging)	Metoden baserer på beregning på storsoner og tilleggseffekter beregnes på storsonenivå ved å endre på generaliserte reisekostnader fra RTM direkte. Rutevalgeffekter som følge av tiltakene tas ikke hensyn til.

AVD/INMAP	Et supplerende modellverktøy for RTM rettet mot arealbruk. Metodikk for å fordele befolknings- og arbeidsplassvekst med basis i arealplaner. Beregner fordeling av befolkningsvekst som tar hensyn til områdenes attraktivitet (blant annet transporttilgjengelighet)	AVD er per høst 2019 under utvikling. Forløperen INMAP krever manuell gjennomgang av arealplaner som kan være arbeidskrevende for et stort analyseområde
ATP modellen	GIS basert planleggingsverktøy for å synliggjøre sammenheng mellom arealbruk og transporttilbud. Bruk av detaljerte befolkning- og ansattesdata på koordinatnivå. Godt egnet til å belyse lokale problemstillinger rettet mot gange, sykkel og kollektiv og effekter av ulike lokaliseringalternativer	Beregner et potensial for reiser (markedsgrunnlag) ut i fra forutsetninger om befolknings- og arbeidsplassgrunnlag, arealbruk og reisevanedata. Modellerer ikke adferdsrelaterte reisevalg.
MatSim	Agentbasert simuleringsverktøy. Kan beregne trafikantenes tilpasning av reisetidspunkt i tillegg til resemiddelvalg og destinasjonsvalg. Trolig gir bedre reisetider i et købelastet nettverk sammenlignet med RTM.	Finnes foreløpig ingen operativ agent-/aktivitetsbasert modell i Norge. Kalibrering av slike modeller er trolig omfattende.

9 Referanser

Ben-Akiva, M., Lerman, S.L. (1985).

Discrete Choice Analysis. Theory and application to travel demand. The Massachusetts Institute of Technology. MIT Press Series in transportation studies.

Flügel, S., Caspersen, E., Angell, T., Fearnley, N., Kwong, C.K. (2015).

Markedspotensialmodell for Oslo og Akershus (MPM23) - Dokumentasjon og brukerveiledning for versjon 1.0. TØI-rapport 1451/2015. Transportøkonomisk institutt og RUTER AS.

Flügel, S., Flötteröd, G., Kwong, C.K., Steinsland, C. (2014).

[*Evaluation of methods for calculating traffic assignment and travel times in congested urban areas with strategic transport models.*](#) TØI-rapport 1358/2014.

Flügel, S., Hulleberg, N. (2016).

Trenklin 2 - Gjennomgang av modellen og drøfting av anvendelsesområde. TØI-rapport 1534/2016.

Flügel, S., Hulleberg, N., Fyhri, A., Weber, C., Ævarsson, G., Skartland, E-G. (2017).

Fartsmodell for sykkel og elsykkel. TØI-rapport 1557/2017.

Flügel, S., Jordbakke, G.N. (2017).

Videreutvikling av markedspotensialmodell for Oslo og Akershus (MPM23 v2.0). TØI rapport 1596/2017.

Flügel, S., Ævarsson, G. (2018).

Sluttpresentasjon for PROSAM om simulering av sykkелеkspressvei mellom Lillestrøm-Bryn med MatSim. Ikke publisert.

Hagen, O.H., Knapskog, M., Kwong, C.K., Lunke, E.B., Rynning, M.K. (2018).

[Organisering og samarbeid for utvikling, drift og bruk av et verktøy for arealprognoser.](#) TØI-rapport 1640/2018.

Knapskog, M., Hagen, O.H., Kwong, C.K., Lunke, E.B. (2018).

[Prognoseverktøy for arealbruk. Framgangsmåte for innhenting av arealdata.](#) TØI-rapport 1637/2018.

Kwong, C.K., Hansen, W. (2018).

Vurdering av INMAP som modellverktøy for arealbruk. TØI-rapport 1635/2018.

Kwong, C.K., Ævarsson, G. (2018).

Automatisk rutekoding for regionale persontransportmodeller. Basert på Nasjonal database for rute- og stoppestedsdata. TØI-rapport 1624/2018.

Madslien, A., Kwong, C.K. (2015).

Klimagasseffekt ved ulike tiltak og virkemidler i samferdselssektoren - transportmodellberegninger. TØI-rapport 1427/2015.

Madslien, A., Rekdal, J., Larsen, O.I. (2005).

[Utvikling av regionale modeller for persontransport i Norge.](#) TØI-rapport 766/2005. Transportøkonomisk institutt og Møreforskning Molde AS.

Madslien, A., Steinsland, C., Grønland, S.E. (2015).

[Nasjonal godstransportmodell. En innføring i bruk av modellen.](#) TØI-rapport 1429/2015. Transportøkonomisk institutt og SITMA.

Malmin, O.K., Arnesen, P., Babri, S., Hjelkrem, O.A. (2017).

CUBE - Teknisk dokumentasjon av regionale persontransportmodell. Versjon 3.12.1. Datert 18.10.2017. SINTEF Teknologi og samfunn. Tilgjengelig fra NTP transportanalyzers eroom.

Nordheim, B., Betanzo, M., Haug, T.W. (2017).

[Stratmod. D1.1](#) Overordnet beskrivelse av modellen. Urbanet Analyse AS notat 97/2016.

Ortúzar, J.d.D., Willumsen, L.G. (2006).

Modelling Transport. Third Edition. John Wiley & Sons, LTD.

PROSAM (2013).

Reisevaner i Oslo og Akershus: Analyser av Ruters markedsinformasjonsystem (MIS).

PROSAM rapport 202.

Ranheim, P.B. (2017).

Trenklin versjon 3. Dokumentasjon og brukerveiledning. 19.04.2017 Jernbanedirektoratet.

Rekdal, J., Hamre, T.N., Flügel, S., Steinsland, C., Madslien, A., Grue, B., Zhang, W., Larsen, O.I. (2018).

NTM6 - Transportmodeller for reiser lengre enn 70 km. Møreforsking Molde AS. Rapport nr 1414.

Rekdal, J., Larsen, O.I., Løkketangen, A., Hamre, T.N. (2013).

[*Tramod-by del 1. Etablering av nytt modellsystem.*](#) Revidert utgave rapport 1203. Møreforsking Molde AS. Rapport nr 1313.

Spiess, H., Florian, M. (1989).

Optimal strategies: A new assignment model for transit networks. Transportation Research Part B: Methodological. Volume 23, Issue 2. April 1989.

Statens vegvesen (2017).

Byutredning Nedre Glomma. Fredrikstad og Sarpsborg. Statens vegvesen Region øst. 15.12.2017.

Steinsland, C., Madslien, A. (2009).

Nasjonal persontransportmodell i CUBE Voyager. Systemdokumentasjon og brukerveiledning. TØI-rapport 1049/2009.

Tørset, T., Meland, S., Levin, T., Haug, T., Norheim, B. (2012).

[*Verktøy til transportanalyser i by.*](#) SINTEF rapport A23560.

Uteng, A., Kittelsen, O.J. (2015).

Arealbruksutvikling på grunnkrets nivå. KIT-prosjekt. Rambøll AS rapport datert 10.12.2015.

Vegdirektoratet (2018).

Byutredninger. Oppsummering av hovedresultater for åtte byområder. Statens vegvesen rapporter. Vegdirektoratet. Styrings- og strategistaben. 25.01.2018

Vegdirektoratet (2018).

[*Konsekvensanalyser.*](#) Håndbok V712.