

## Sammendrag

# Transportmodeller mot fremtiden. Muligheter for forbedrede modeller med fokus på reiser i byområder

TØI rapport 1819/2020

Forfattere: Stefan Flügel, Anne Madslie, Nina Hulleberg, Christian Steinsland, Bjørn Gjerde Johansen  
Oslo 2021, 56 sider

*Matematiske transportmodeller som dekker alle reiser i Norge ble først utviklet fra 1989. Detaljeringsgrad, kvalitet på inndata og funksjonaliteten til transportmodellene er betydelig forbedret gjennom de 30 årene siden den gang, men den grunnleggende metodikken er uendret. Denne rapporten beskriver muligheter for modellutvikling for personreiser i Norge basert på dagens og fremtidens behov for transportanalyser. Rapporten omhandler bl. annet agentbaserte modeller som er en nyere type modell som kan være verdt å satse på videre, spesielt med tanke på reiser i by og byområder.*

## Bakgrunn og metode

TØI og fire andre forsknings- og utviklingsmiljø har fått i oppdrag av Statens vegvesen å skrive hver sin rapport om behov og muligheter for videreutvikling av dagens transportmodeller, samt eventuell annen modellutvikling som kan forbedre strategisk planlegging for byområder. TØI er bedt om å dekke fire av temaene:

### Byer og byområder

- Nye metoder og modeller
- Videreutvikling av dagens modellsystem
- Fremtiden

Metoden for denne rapporten har vært å sammenstille relevante bidrag fra tidligere arbeid (intern og ekstern litteratur), i tillegg til at behov og muligheter er diskutert med ulike forskere på TØI.

## Modellvalg og modellutvikling i Norge

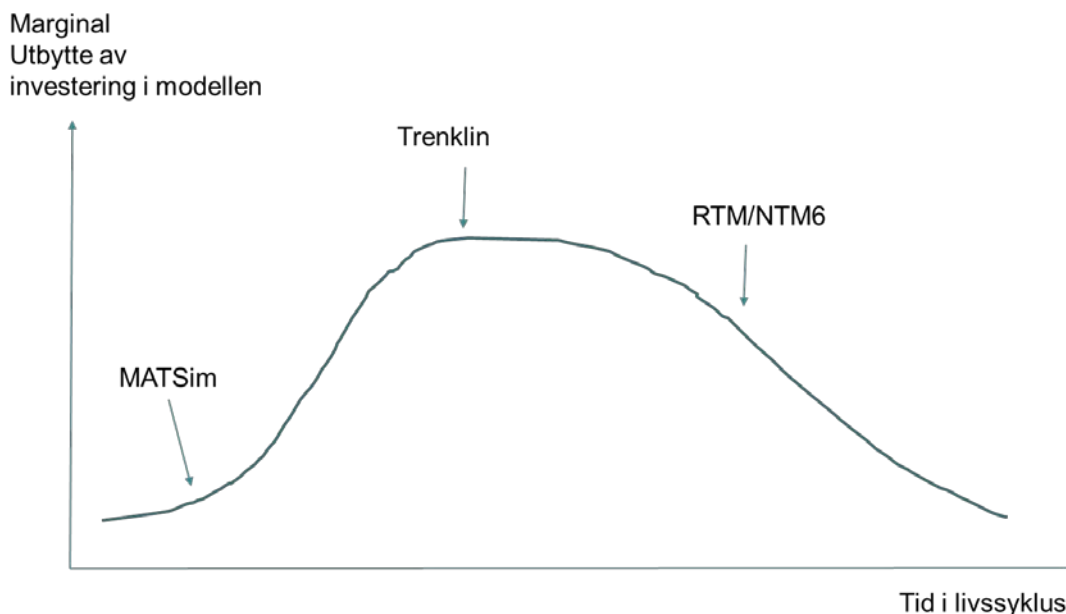
Rapporten beskriver sentrale kjennetegn ved modeller i Norge (Pingo, RTM/NTM6, Trenklin, MATsim Aimsun) og poengterer at modellvalg ideelt sett bør ta utgangspunkt i analysebehovet: Forventer man store og langsiktige effekter bør man bruke generelle likevektsmodeller og/eller strategiske transportmodeller. Forventer man detaljerte og dynamiske effekter bør man bruke dynamiske modeller eller simuleringsmodeller.

I Statens vegvesen og i NTP-arbeidet er strategiske transportmodellsystemer (RTM/NTM6) den desidert mest brukte type transportmodell. Ved mange analyser drar systemet bestående av RTM og NTM6 store fordeler av at det er et etablert opplegg for å ta modellresultatene videre inn i nytte-kostnadsanalyser. En annen stor fordel er at modellsystemet dekker alle reiser innenfor Norge (med bil, fly, kollektiv og gang/sykkel).

At RTM i dag ikke kan brukes til å modellere trengsel på kollektivturer har vært en hovedmotivasjon for Jernbanedirektoratet til å utvikle sin egen transportmodell, Trenklin.

Fra et forskerperspektiv kan RTM/NTM6 oppleves som lite attraktiv siden den grunnleggende metodikken (firetrinnsmodeller) er veletablert og gir lite rom for vitenskapelig og nyskapende publisering i modellorienterte/tekniske journaler. Forskningsfronten har i flere ti-år dreid seg om dynamiske/simuleringsbaserte modeller, og i nyere tid agent-baserte transportmodeller (som MATSim).

Figur S1 er en veldig forenklet illustrasjon av livssyklus for noen av modellene som brukes i Norge.



Figur S1: Illustrasjon av livssyklus og marginalt utbytte av utviklingsressurser for ulike transportmodeller.

MATSim i Norge er helt i startfasen og det er høye oppstartskostnader forbundet med etablering av modeller og opplæring av fagpersoner.

Trenklin er en relativt ung modell som har «overlevd» oppstartfasen og har vist seg relevant i praksis. Modellen har fortsatt rom for betydelige forbedringer. Forbedringer kan trolig gjennomføres med relativt lave utviklingskostnader (R&D) siden det finnes et tilstrekkelig antall fagpersoner som kan jobbe videre med modellen uten store opplæringskostnader.

RTM/NTM6 er en veletablert modell og det finnes mange fagpersoner som kan jobbe med forbedringer i systemet. Samtidig kan det argumenteres for at det kan være vanskelig å hente ut så mye mer med denne metodikken. Det er for eksempel veldig kostbart med tanke på ytterligere beregningstid å øke antall soner, segmenter eller tidsperioder. Når det er sagt så er fordelene med RTM/NTM6-systemet (se lenger opp) så sentrale at det er vanskelig å forestille seg at modellsystemet kan erstattes i Norge på kort og mellomlang sikt.

To viktige elementer i forbindelse med kanaler for utvikling av nye modeller i Norge er at 1) Norges forskningsråd (NFR) har tematiske utlysninger som kan gjøre det vanskelig å få finansiering for større prosjekter som har modellutvikling som hovedtema, 2) I motsetning til i Sverige og Danmark så finnes det i Norge ikke noe stort akademisk miljø som driver med transportmodeller og modellutvikling.

## Trender som kan påvirke behov for transportmodellering

Det er flere trender i transportsektoren som er relevante med tanke på videre modellutvikling:

- Fortetting og urbanisering
  - Bytransport blir relativt viktigere framover
  - Økt behov for å kunne modellere kø og trengsel på en tilfredsstillende måte
  - Mer fokus på sykling og gåing
  - Mulighetene for å parkere innskrenkes og det blir dyrere
- Elektrifisering
  - Heterogenitet i bilparken (effekt på transportkostnader mm)
  - Forbud/utfasing av personbiler med forbrenningsmotor
- Automatisering og nye egenskaper ved transportmidler
  - Førerløse biler og deres effekt på tidsverdi, trafikkavvikling, og etterspørsel etter bil
  - Automatisering innenfor kollektivtransport
- Delingsøkonomi / Mobility-as-a-service
  - Tradisjonell bildeling (uten automatisering)
  - Effekt på bilhold og biltilgang
  - Robotaxier (gitt automatisering) som nytt transportmiddel
    - Redusert transportkostnad
    - Økt biltilgang og etterspørsel
    - Tomkjøring
    - Tilgjengelighet /ventetid for robotaxier gitt (komplekst/dynamisk) samspill mellom etterspørsel og transporttilbud
    - Forbedret tilbringertransport til kollektivruter
- Mikromobilitet (elektriske sparkesykler el.)
  - Nye transportmidler, økt fleksibilitet
- Teknologitviking for øvrig
  - GPS-tracking og mulighet for dynamisk veiprisning
  - 5G mobilnett og superrask oppkobling av personer og kjøretøy
  - Nye muligheter for management og kontroll av trafikkavvikling
  - Nye underholdningsformer som kan brukes mens man reiser (VR-briller)
  - Økt konnektivitet (for eksempel økt mulighet for å organisere samkjøring («ride-sharing»))
- Mer fleksible arbeidsformer
  - Færre reiser til/fra arbeid, modellering av valg mellom hjemmekontor og «kontor-kontor»
  - Modellering av valg av reisetidspunkt
- Flere sammensatte reiser
  - Sanntidsinformasjon
  - Nye forretningsmodeller
- Arealpolitikk. Byveksttaltene er blant annet basert på et samspill mellom transporttiltak og arealtiltak
  - Knutepunktutvikling

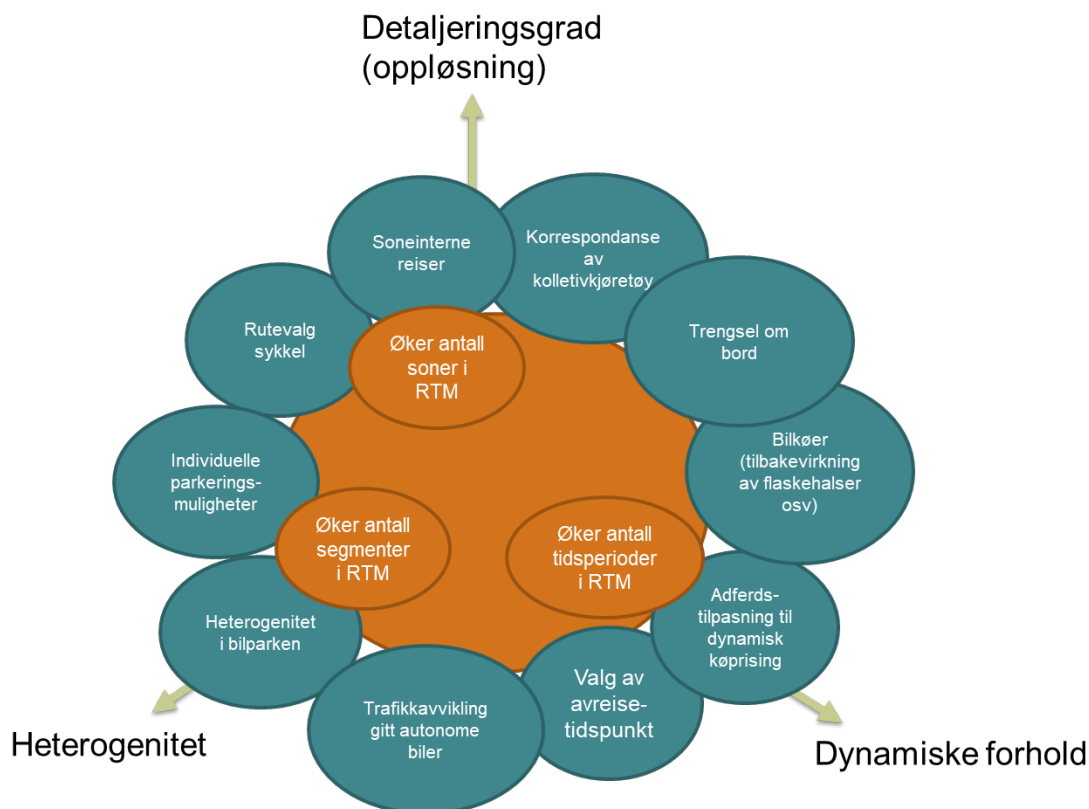
Den generelle tendensen er at tiltak i by og tiltak som har en dynamisk karakter blir mer etterspurt.

Rapporten beskriver at RTM er et noe ufleksibelt modellsystem og at den er kalibrert mot dagens adferd og teknologi. Det kan derfor være utfordrende å modellere trendbrudd i RTM.

## Videreutvikling av RTM

Muligheter og utfordringer ved videreutvikling av RTM er knyttet til begrensninger som ligger i et statisk og makroskopisk rammeverk.

Innenfor det metodiske rammeverket kan RTM forbedres på dimensjonene detaljeringsgrad, heterogenitet og dynamiske forhold ved at en henholdsvis kan øke antall soner, øke antall befolkningssegmenter og øke antall tidsperioder. Disse forbedringer kan bidra til at RTM blir bedre, men det vil ikke føre til det ønskede presisjonsnivå for flere elementer og tiltak. Det er illustrert i figur S2.



Figur S2: Illustrasjon av noen elementer som det kan være vanskelig å oppnå høyt presisjonsnivå på, selv om man øker antall soner, segmenter og tidsperioder i RTM.

Vi har likevel skissert noen videreutviklingsmuligheter for byområder knyttet til:

- *Gang og sykkel*
  - En modell basert på soneinndeling er ikke ideelt for å analysere gang/sykkel, men vi tror at det ligger et forbedringspotensial i hvordan GS-turer nettutlegges og hvilken rutevalgsalgoritme som brukes i CUBE.
- *Kollektiv*
  - Også for kollektivreiser er sonestrukturen en utfordring, spesielt der det er store soner. Det kan også være nyttig å se nærmere på ventetidsberegning for ruter med lav frekvens, og muligens på nytt vurdere om tidtabeller kan være nyttig. Dette forutsetter at en tidligere «bug» knyttet til denne funksjonaliteten er rettet i Cube.

- *Bompenger*
  - Fremvekst av avanserte bompengesystemer i noen av de store byene stiller høyere krav til modellering av bompengene i modellen, spesielt knyttet til håndtering av timesregel. Det er også en utfordring at det gjøres gjennomsnittsbetraktninger for biler med ulike takster, som elbiler og biler med forbrenningsmotor. På sikt kan dette endre seg, dersom det blir en vridning mot andre betalingsystemer som dynamisk vegprising.
- *Parkering*
  - Siden parkeringstilgjengelighet og parkeringskostnader er blant de viktigste forklaringsvariabler for valg av transportmiddel (og bilhold), anbefaler vi at det gjøres en oppdatering av kostnader i dagens modellversjon og en ny vurdering av muligheter til en mer presis og enhetlig modellering av parkeringstiltak .
- *Mobile tjenesteytere*
  - God oversikt over transportmønsteret for mobile tjenesteytere er viktig i forbindelse med beregninger knyttet til nullvekstmålet. Det er imidlertid vanskelig å skille ut disse turene fra dagens RVU, men kunnskapen kan forbedres ved at en også tar i bruk andre datakilder. I forbindelse med Bylogistikkprogrammet jobbes det noe med problemstillingen og vi anbefaler en samordning med arbeidet som gjøres der.
- *Skolereiser*
  - Dagens skolemodell er svært forenklet og det er stort rom for forbedring, bl.a. bør den videreutvikles på en slik måte at transportmiddelfordelingen vil påvirkes av tiltak i transporttilbudet. Det bør også undersøkes om det finnes data som kan bidra til bedre estimering av bosted for studenter.
- *Sammensetting av bilparken*
  - Bruk av nye RVU data til å lage en segmentering etter drivstofftyper i bilholdsmodellen og modell for destinasjon- og transportportmiddelvalg.

Vi beskriver også muligheter for kobling av RTM mot andre verktøy/modeller som Aimsun, areabruksmodeller (LUTI) og modeller for forskyvning av tidsperioder.

Nye og bedre inndata er et satsningsområde man har jobbet mye med tidligere og hvor det fortsatt kan være behov for forbedringer og innovasjoner. Rapporten nevner flere nye datakilder som kan tenkes brukt for modellkalibrering. Rapporten omtaler også behov for mer detaljerte og representative reisevanedata.

## Agentbaserte transportmodeller

MATSim, som er et åpen-kilde rammeverk for agentbasert transportmodellering, er nærmere omtalt i rapporten, og vi har oppsummert noen fordeler og ulemper.

Fordelene ved MATSim ligger i:

- Metodiske fordeler som følge av dynamisk og mikroskopisk tilnærming, deriblant:
  - Modellering av avreisetidspunkt
  - Eksplisitt modellering av kødannelse, for eksempel tilbakevirkning av flaskehalser
  - Modellering av soneinterne reiser og reiser mellom nabosoner. En bruker eksakte koordinater og ikke sone som start- og endepunkt for reisene.
  - Realistisk modellering av rutevalg
  - Man kan segmentere resultater etter alle ønskede dimensjoner som det foreligger data for

- Fleksibel modellstruktur
  - Relativt enkelt å videreutvikle modellen
  - Eksisterende opplegg («extensions») for autonome taxier
  - Mulighet for å erstatte enkelte modellkomponenter
  - Fleksibel aggregering av resultater
- Åpen-kilde og gratis (men uten brukersupport)
- Forsøker å etterligne virkelige prosesser, og fremstår dermed som intuitiv.

Ulemper med MATSim inkluderer:

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

### Fremtiden

Teknologiske og sosiale trender vil medføre nye transportformer og nye politiske tiltak. Dette innebærer flere utfordringer for transportmodelleringen, noe som forsøksvis er sammenfattet i tabell S1.

Tabell S1: Forventete utfordringer ved modellering av nye transportformer, rammebetingelser og tiltak i RTM.

Nye transportformer, rammebetingelser og tiltak	Sannsynlige effekter på transportmarkedet	Utfordring for transportmodellering i strategiske transportmodeller (RTM)
Mer differensierte timesregler for bompenger	* Mindre etterspørselseffekter * Endrede bompenginntekter	* Identifikasjon av hvem som er berørt av timersregelen * Mobile tjenesteytere
Dynamisk køprising	* Etterspørselsvirkninger * Endring i avreisetidspunkt	* Ingen/begrenset overføring mellom tidsperioder
Restriksjoner for bruk av biler med forbrenningsmotor	* Effekter på bilhold og el-bilandel	* Ingen heterogenitet av biler ved nettutlegging * Valg av drivstofftype ikke del av etterspørselsmodellen
Sykkeltiltak (Sykkel-ekspressvei mm)	* Overført trafikk (og helse-gevinster) * Endring i rutevalg	* Problem med soneinterne reiser i regioner med grov soneinndeling
Delte autonome biler (robotaxi)	* Bilhold * Utforming av parkeringsplasser * Trafikkflyt mm	* se under
Øvrig «mobility-as-a-service» / bildeling	* Redusert bilhold, men økt tilgang til bil	* Forbedringer i bilholdsmodell nødvendig mm

Robotaxier er nærmere omtalt i rapporten. Det kan forventes at RTM kan fange opp noen av effektene av autonome biler/robotaxier:

- Lavere tidsverdi
- Økt biltilgang
- Lavere kjørekostnader
- Bedre trafikkflyt (hvis enkelt modellert ved justering av VDF-funksjoner)

Andre effekter vil være vanskelige eller umulige å fange opp:

- Dynamikken mellom etterspørsel og tilbud som resulterer i
  - Ventetid for autonome taxier
  - Omfang av tomkjøring
- Potensial og omfang av ride-sharing
- Frigjøring av parkeringsarealer
- Detaljerte effekter på trafikkflyten
  - Løsning av flaskehalser
  - Effekten av at konvensjonelle biler og autonome biler deler veien
- Korrespondanse mellom autonome biler og tog/t-bane

Rapporten viser til en litteraturgjennomgang som har sammenstilt 26 internasjonale artikler som bruker transportmodeller for å analysere effekter av autonome biler. Av de 26 studiene er 17 gjennomført med agent-baserte modeller og kun 2 med makroskopiske modeller.

## Anbefaling

En satsing på transportmodeller for fremtiden bør ikke være bestemt av historiske forhold, men ta utgangspunkt i dagens og fremtidig behov for transportanalyse.

Vi har i denne rapporten prøvd å beskrive fremtidens utfordringer for transportmodellering, med spesielt fokus på reiser i byområder. Trafikken i byområder er dynamisk, og ønsket om å kunne modellere transport med dynamiske modeller kommer trolig til å øke ut fra teknologiske trender som for eksempel automatisering, og sosiale trender som etterspørsel etter mer individuell og tilpasset transport.

Tiltaksanalyser i byer kan også kreve et mer finkornet modellsystem som f.eks. bedre dekker gang- og sykkeltiltak. Agentbaserte simuleringsmodeller som ikke trenger et sonesystem og som modellerer adferd på enkeltperson(agent)-nivå virker attraktive for detaljerte analyseformål.

Behovet for mikroskopiske etterspørselsmodeller er noe lavere for «vanlige» nyttekostnadsanalyser som bruker enhetspriser for forbedringer i transport (f.eks. bruker samme tidsverdi for reisetidsbesparelser med et gitt transportmiddel). En makroskopisk modelltilnærming synes tilstrekkelig for dette formålet, så lenge den kan gi nøyaktige aggregerte estimater (f. eks. nettotidsbesparelse). Siden de fleste makroskopiske modeller er statiske, kan beregningen av reisetider i købelastede områder imidlertid være grov og unøyaktig.

Vi anbefaler en (langsiktig) satsning på dynamiske modeller med en meso-/eller mikroskopisk tilnærming for trafikkavvikling. Det er naturligvis avgjørende å ha fagfolk med tilstrekkelig kunnskap tilgjengelig. Dette stiller visse krav til utdanning og videreutdanning av forskerne og konsulenter i transportsektoren.

Det kan være ulike mål forbundet med modellutvikling. Flere mål kan ha et mer kortsiktig perspektiv og dreie seg om konkrete ting som skal forbedres i forbindelse med utredninger eller neste NTP. Andre mål har en mer langsiktig karakter. Ett mål kan for eksempel være å

lage en modell som kan analysere autonome biler/robotaxier på en god måte. **Eller** mer generelt at man bygger et modellsystem som bruker state-of-the-art metoder.

Tabell S2 skisserer noen mulige løp for modellutvikling som kan gjennomføres parallelt.

Tabell S2: Anbefalte løp for modellutvikling.

	Kortsiktig løp (RTM)	Mellomlangt løp (RTM)	Mellomlangt løp (andre modeller)	Langt løp
Tids-perspektiv	< 4 år (til neste NTP)	4-10 år	4-10 år	> 10 år
Generelt mål	Konkrete forbedringer i dagens modell-system med tanke på neste NTP	Etablere ny og re-estimert versjon av modellsystemet	Demonstrere egnethet og gjennomførbarhet av «state-of-the-art» modeller	Etablering av et fullverdig modell-system basert på «state-of-the-art» metoder
Eksempler på mulige konkrete mål	1. Øke konsistens mellom transportmodeller og nytteberegning 2. Forbedre kvalitet/omfang av kalibrering og inndata	1. El-biler som eget transportmiddel 2. Integrering av skolemodell i hovedmodell 3. Fange opp mikromobilitet	1. Etablere agentbaserte modeller for de største 10 by-områder 2. Nettverks-simulering av biler, kollektiv og sykkel	1. Etablere agentbaserte modell-systemer som dekker alle reiser og godstransport i Norge 2. Kobling mot mikroskopiske LUTI-modeller og /eller ABDM*
Sentrale stakeholders/ finansieringskilder	NTP-analysegruppe, SVV (modell- og nyttekostnads-gruppe)	Ny rammeavtale for utvikling av neste versjon av RTM	Forskningsråd, ulike nasjonale og regionale aktører (inkl. RUTER og PROSAM)	Forskningsråd, Transportetater
Sentrale aktører	Konsulenter	Transportforskere med god innsikt i RTM-systemet	Transportforskere med relevant erfaring i dynamiske modeller, enkelte PhD-prosjekter	Universitetssektor**, transportforskere
Viktige elementer som kan bidra til vellykket implementering	Etablert kompetanse i Norge	Samordning av prosjekter i felles prosjekt/rammeavtale	Samarbeid med internasjonale eksperter	Økt regnekraft, tilgang til (big) data og kunstig intelligens
Foreslått bidrag fra et mulig etats-program i SVV 2021-2024	Finansiering av enkelte prosjekter	Forprosjekter	Forprosjekter som bidrar til prosjekter som fremmer nye metoder	Bidrag via mellomlangt løp

\* activity based demand models

\*\*for utdanning av personer som kan utvikle, bruke og vedlikeholde et state-of-the-art modellsystem