

Sammendrag:

Vurdering av metoder for å beregne trafikkavvikling og reisetider i byområder med købelastning i strategiske transportmodeller

TØI rapport 1358/2014

Author(s): Stefan Flügel (TØI), Gunnar Flötteröd (KTH), Chi Kwan Kwong (TØI), Christian Steinsland (TØI)

Oslo 2014 57sider

Transportprosesser, dvs. bevegelser av personer og gods i rom og tid, er i sin natur dynamiske. Valgene på etterspørselsiden gjøres i en dynamisk sammenheng ved å planlegge og utføre dagens aktiviteter til ønskelige klokkeslett. Nettverksforholdene (som representerer den kortsiktige tilbudssiden) avhenger av trafikkflyten som oppstår som følge av dynamiske interaksjoner av mange biler og den gitte infrastrukturen. Reisetidene i urbane områder kan variere betydelig over dagen grunnet kø som er avhengig av både menneskelig adferd (spesielt valg av transportmiddel, avreisetidspunkter og rute) og komplekse fysiske prosesser i nettverket.

Vår evaluering av metoder for trafikkavvikling beskriver dynamiske meso- eller mikromodeller som mest egnet for alle (vurderte) analyseblikker i købelastede byområder. De største fordelene er knyttet til en realistisk modellering av kø og bredden i analysemuligheter (muligheten til å aggregere resultater på alle ønskelige måter). Disse modellene har imidlertid noen utfordringer/ulempen i praksis. De krever mer detaljerte inndata, er mer krevende med hensyn på implementering, kalibrering og bruk og stiller høyere krav (ekspertkunnskap) på brukersiden.

Bakgrunn

Transportøkonomisk Institutt (TØI) og Gunnar Flötteröd fra KTH har på oppdrag fra Statens Vegvesen gjennomført prosjektet: «Vurdering av metoder for å beregne trafikkavvikling og reisetider i byområder med købelastning i strategiske transportmodeller». Prosjektet hadde til oppgave å

- Kartlegge metoder for å beregne trafikkavvikling og reisetider i byområder med købelastning i strategiske transportmodeller.
- Vurdere hvordan statiske og dynamiske modeller for å beregne trafikkavvikling og reisetider i byområder kan kombineres, og vurdere fordelene og ulempene ved en slik tilnærming.

Rapporten motiveres av at den statiske trafikkavviklingsmodellen i de norske regionale persontransportmodellene (RTM) ikke kan fange opp dynamisk kødannning, noe som kan føre til unøyaktige beregninger av reisetider og trafikkavvikling i købelastede byområder.

Strategiske transportmodeller

I tråd med prosjektets tittel beskriver og diskuterer vi metoder som er relevante for strategisk transportmodellering. Skillet mot taktiske og operative modeller er i form av planleggings- og managementperspektiv i bruk av modellene.

Strategiske transportmodeller har størst omfang, og disse brukes ofte for å analysere langsiktige konsekvenser i transportsystemet til en hel region eller nasjon. Et vesentlig element i disse modellene er at etterspørselssiden beregnes/predikeres i modellen (etterspørselen er endogen). Adferdselementer som tas med ved modellering av etterspørselen er reisefrekvens, destinasjonsvalg, reisemiddelvalg, valg av avreisetidspunkt (kun modellert i dynamiske modeller) og rutevalg.

I taktiske transportmodeller er etterspørselen delvis endogen (total antall reiser er ofte forhåndsbestemt) og disse modeller brukes gjerne for mer kortsiktige prognoser. I en operasjonell transportmodell er etterspørselen gitt (bortsett fra rutevalg i noen tilfelle), og disse modeller brukes for kortsiktig og detaljert trafikkavviklingsanalyse, vanligvis helt nede på vegstreknings- eller kryssnivå.

De fundamentale byggsteinene i en strategisk (eller taktisk) transportmodell er (i) en adferdsmodell for reiseetterspørsel, og (ii) en fysisk modell for nettverksstrømmer (trafikkflyt).

I klassiske transportmodeller er rutevalg en del av transportavviklingsmodellen (nettverksmodellen). Transportavviklingsmodellen tar (transportmiddelspesifikke) OD matriser som inndata (dvs. matriser som inneholder antall turer mellom hvert sonepar). og beregner (transportmiddelspesifikke) LoS matriser som utdata (dvs. matriser som inneholder egenskaper ved reisen som kostnad, ombordtid, tilbringertid, ventetid osv. mellom hvert sonepar). Etterspørselsmodellen tar LoS-matrisene som inndata og produserer OD-matriser.

I nyere agent-baserte etterspørselsmodeller (som MATsim) er rutevalg en del av etterspørselsmodellen. Det argumenteres for at det bedre skiller mellom adferdsmodellering og fysisk trafikkflytmodellering. I slike modeller tar trafikkavviklingsmodellen, som da mer korrekt kalles for trafikkflytmodell, reisene til enkeltpersoner (agenter) som inndata og det produseres reisetider og kostnader på lenkenivå. Disse aggregeres deretter opp på et reisenivå (turnivå). Denne informasjonen brukes som inndata i en (agent-basert) etterspørselsmodell som igjen produserer reiser (turer) til agentene.

I begge tilfellene blir løsningen av modellsystemet funnet ved å bringe tilbudssiden (nettverket) og etterspørselssiden i en likevekt. Dette oppnås vanligvis ved å iterere mellom etterspørselsmodellen og trafikkavviklingsmodellen. Integreringen av alle modellkomponenter er vesentlig for strategiske transportmodeller, som krever at etterspørselssiden er følsom for forhold og endringer i nettverket.

Modellklassifisering

På generelt vis kan **transportmodeller** klassifiseres etter 1) hvordan de representerer tid (statiske eller dynamiske modeller), 2) modellopløsningen (makro-, meso- eller mikromodeller), og 3) hvordan de håndterer usikkerhet i prosessene som modelleres (deterministiske eller stokastiske modeller).

Etterspørselsmodeller klassifiseres ytterligere i (a) hvordan de forklarer reises opphav (soneattraksjons-baserte modeller eller aktivitetsbaserte modeller), (b)

hvordan tidsmessig avhengighet mellom enkelte reiser er etablert (reise-basert, tur-basert, eller heldaglige modeller), og (c) hvordan heterogeniteten i reisebefolkningen er tatt hensyn til (segmenteringsmodeller og modeller basert på en syntetisk befolkning).

Trafikkavviklingsmodeller er en kombinasjon av en rutevalgmodell og en trafikkflytmodell. Rutevalgmodeller predikerer hvilken rute reisende vil ta gitt de forventete forholdene i nettverket. Trafikkflytmodeller predikerer forholdene i nettverket gitt alle rutevalgene.

I evalueringen av trafikkavviklingsmodeller undersøker vi de tre mest vanlige kombinasjonene

- Statisk, makroskopisk, deterministisk
 - Bilenes bevegelser er i form av aggregerte strømmer (makroskopisk).
 - Antar at den reisende velger ruten med lavest kostnad i modellen (deterministisk rutevalg).
 - Antar momentane nettverksstrømmer og beregner bare forsinkelse i reisetider, men ikke omfanget av og romlig utbredelse av kø. Reisetiden beregnes vanligvis som en stigende funksjon av trafikkmengde, som kan innebærer et trafikkstrømmen estimeres til et nivå som er fysisk umulig (statisk).
- Dynamisk, makroskopisk, deterministisk
 - Tilfører tidsmessig avhengighet i rutevalg og fanger opp den romlige, tidsmessige dynamikken i trafikkflyt; utleder forsinkelse gjennom å modellere kø eksplisitt (dynamisk).
- Dynamisk, mesoskopisk eller mikroskopisk, stokastisk
 - Definerer diskrete rutevalg for den enkelte reisende/kjøretøy (mikroskopisk rutevalg).
 - Antar at reisende velger ruten med lavest subjektiv kostnad. Usikkerheten rundt denne subjektive oppfatningen er representert ved at man åpner for valg av ruter som har høyere kostnad enn laveste kostnad som er definert i modellen (stokastisk rutevalg).
 - Representerer kjøretøy-kjøretøy og kjøretøy-infrastruktur interaksjoner på det enkelte kjøretøynivå (mikroskopisk trafikkflyt) eller aggregerer noen bevegelser innenfor en mikroskopisk modell, men lar den disaggregerte representasjonen av kjøretøyene være intakt (mesoskopisk trafikkflyt).

Kobling av etterspørsel- og trafikkavviklingsmodell

For en velfungerende kobling mellom en etterspørsels- og en trafikkavviklingsmodell er det viktig at dataene som gjensidig produseres og leses inn av hver modelldel, er kompatible med hverandre.

Den klassiske **representasjonen av etterspørselen** er gjennom **OD-matriser** oppdelt i geografiske soner. Hvert element i matrisen representerer antall reiser (per transportmiddel/segment) i en bestemt tidsperiode. Variasjon i etterspørsel over dagen er i så fall gjengitt med separate matriser. En annen type datastruktur er **reiselister** hvor enkeltreisene er oppgitt «etter hverandre», dvs. ikke i en matrisestruktur. I tillegg til opprinnelse/destinasjon (som kan rapporteres basert på et sonesystem eller med eksakte koordinater) føres vanligvis opp informasjon om

avreisetidspunkt og forskjellig bakgrunnsinformasjon om reisende og kjøretøy. Denne datastrukturen er altså disaggregert og inneholder vanligvis mer informasjon enn den som er tilgjengelig ved bruk av OD-matriser. Reiselister kan lett aggregeres opp i (tidsavhengige) OD-matriser, men detaljert informasjon som reiselister kan inneholde («eksakte» koordinater, «eksakte» avreisetidspunkt og bakgrunnsvariabler) går vanligvis tapt i en slik aggregering. En skritt videre går **reisesekvenslistene** som presenterer heldaglige reiseplaner. En slik datastruktur kan bare brukes dersom både etterspørselsmodellen og nettverksmodellen er i stand til å håndtere reisesekvenser (mulig i dynamiske agent-baserte metoder som MATSim).

En viktig type inndata til etterspørselsmodellen er informasjon om forholdene i nettverket («nettverksdata»). Slik informasjon produseres i trafikkavviklingsmodellen (nettverksmodellen). Den klassiske representasjonen er i form av **LoS-matriser** oppdelt på et sonenivå. Disse matrisene angir gjennomsnittlige reisetider, kostnader osv. mellom soner i en gitt tidsperiode, ofte oppdelt etter transportmiddel og befolkningssegmenter. Datastrukturen for LoS-matrisene er av samme type som OD-matrisene. Variasjon i nettverksforholdene over dagen er gjengitt med separate matriser, f.eks. egne reisetidsmatriser for hhv lavtrafikk og høytrafikkperiode. Nesten all programvare for trafikkavvikling beregner **nettverksdata internt på lenkenivå**. Det er derfor mulig å rapportere nettverksdata mer disaggregert til etterspørselsmodellen. Hvorvidt dette er hensiktsmessig avhenger av i hvilken grad etterspørselsmodellen kan bruke slike disaggregerte data.

Hvis trafikkmodellen er i stand til å nettutlegge individuelle turer, blir det også mulig å skrive ut reisetider slik de faktisk ble opplevd (i simuleringen) av beslutningstakerne. Dette gjør det også mulig å vedlegge informasjon om de reisendes opplevde «stop-and-go» trafikk.

Tabell S1 gir en oversikt forskjellige koblinger.

Tabell S1: Kobling av modeller med ulike tidsrepresentasjon og oppløsning

		Trafikkavviklingsmodell		
		Statisk makro	Dynamisk makro	Dynamisk meso/mikro
Etterspørselsmodell	Statisk makro	Passe	Kan være tilstrekkelig for å studere dynamikken i nettverket i peak-perioder men dynamiske nettverksdata brukes ikke i etterspørselsmodellen	Kan være tilstrekkelig for å studere dynamikken i nettverket i peak-perioder men dynamiske nettverksdata brukes ikke i etterspørselsmodellen
	Dynamisk makro	Lider av forenklet representasjon av kø	Passe	Passe
	Dynamisk mikro	Lider av forenklet representasjon av kø. Kan lide av grovkornet representasjon av reisendes heterogenitet i nettverket	Kan lide av grovkornet representasjon av reisendes heterogenitet i nettverket	Passe (om etterspørsel er representert i reiselistene)

Kobling mellom en statisk og makroskopisk etterspørselsmodell og en statisk og makroskopisk trafikkavviklingsmodell er uproblematisk og relativt enkelt (den forhåndsbestemte tidsperioden bør samsvare). Det samme gjelder dynamiske makromodeller. Her er (de tidsavhengige) OD-matrisene og LoS-matrisene typisk inndelt i mindre tidsperioder og leses inn som sekvens (ikke separat som i statiske modeller). Kobling mellom en dynamisk mikroskopisk etterspørselsmodell og en dynamisk meso- eller mikroskopisk trafikkavviklingsmodell passer også. Her er det nødvendig at etterspørselen er presentert med reiselistene (som i agentbaserte modeller). I en slik tilnærming kan beslutninger for de reisende direkte knyttes til forventede/opplevde nettverksforhold på individnivå. I alle andre typer koblinger diskutert i tabell S1, vil en slik en-til-en kobling mellom beslutningstakerne på etterspørselssiden og kjøretøyene på nettverkssiden ikke være mulig å gjennomføre.

Når modellenes håndtering av tid og/eller oppløsning ikke er i samsvar, så må det disaggregeres på den ene siden av koblingen og aggregeres på den andre. Pga. den manglende informasjonen fra selve modellen må det disaggregeres med ekstern informasjon som kan inneholde en viss skeivhet. Når det skal aggregeres (over tid og/eller over beslutningstakere), går vanligvis mye av den disaggregerte datainformasjonen tapt.

For eksempel vil en kobling mellom en dynamisk og mikroskopisk etterspørselsmodell og en statisk makroskopisk trafikkavviklingsmodell innebære at

etterspørselen (vanligvis i form av reiselister) må aggregeres opp i et sonematrixsystem som gjelder for et bestemt tidsrom. Mye av den detaljerte informasjon vil gå tapt med dette. Hvis den statiske nettverksmodellen kun rapporterer LoS-matriser (på sonenivå og ikke lenkenivå), må denne informasjonen disaggregeres igjen (på enkeltreisende-nivå) før den kan brukes i etterspørselsmodellen. Den mikroskopiske etterspørselsmodellen vil i denne type kobling ofte lide av for grov nettverksinformasjon og svak modellering av kø i en statisk nettverksmodell.

Kobling mellom en statisk og makroskopisk etterspørselsmodell og en dynamisk og meso/mikroskopisk trafikkavviklingsmodell kan være hensiktsmessig hvis man vil studere dynamikken i nettverket i peak-perioder (rush). Etterspørselen må her disaggregeres ved bruk av ekstern datainformasjon (reisedata, trafikktellinger) og/eller basert på antakelser. Trafikkavviklingsmodellen vil da beregne tidsavhengig nettverksinformasjon, f.eks. reisetiden på en gitt lenke på et gitt tidspunkt på dagen. Denne informasjonen må dog aggregeres igjen før den kan bli brukt i beregning av en makroskopisk etterspørselsmodell. Statisk etterspørselsmodellering betyr også at den dynamiske informasjonen som ligger i nettverksdata ikke kan brukes fullt ut.

Vurdering av metoder for å beregne trafikkavvikling i kø-belastete byer

Tabell S2 og S3 sammenfatter evalueringen av typer trafikkavviklingsmodeller for henholdsvis analysehensikter og praktiske kriterier.

Tabell S2. Evaluering av trafikkavviklingsmodeller for forskjellige analysehensikter

	Statisk makro	Dynamisk makro	Dynamisk meso/mikro
Kø-reducerende tiltak	Utilstrekkelig (S)	Tilstrekkelig	Tilstrekkelig
ITS	Utilstrekkelig (S,A)	Mindreverdig (A)	Tilstrekkelig*
Transportetterspørsels-regulering	Mindreverdig (A)	Akseptabelt	Tilstrekkelig
Vinner/taper analyser	Utilstrekkelig (A)	Mindreverdig (A)	Tilstrekkelig
Vanlig Nytte-kostnads beregning (enhetspriser)	Tilstrekkelig hvis købelastning lav	Tilstrekkelig	Tilstrekkelig **

Årsak: (S)-Statisk, (A)-Aggregert; *mikro-nivå kan være nødvendig, **hvis fordelinger av prediksjoner er sammenlignet

Tabell S3: Evaluering av trafikkavviklingsmodeller for generelle modellegenskaper

	Statisk makro	Dynamisk makro	Dynamisk meso/mikro
Robust og etterprøvbart	Ja, men muligens skeiv (S)	Følsom	Stokastisk*
Bredde i analysemuligheter	Begrenset (S,A)	Moderat (A)	Høy
Beregningstid	Rask**	Langsom	Langsom***
Implementering, kalibrering, bruk & vedlikehold	Enkelt (S,A)	Moderat (A)	Krevende
Fleksibilitet og mulighet for utvidelse	Lav	Moderat	Høy

Årsak: (S)-Statisk, (A)-Aggregert; *enkelte modellkjøringer ikke robuste, **langsom hvis antall segmenter er høy, ***mikro-nivå kan være for langsomt for store nettverk.

Hvis man vil predikere effekten av et tiltak for å redusere kø (som kapasitetsutbygning), trenger man en modell som fanger opp den romlige og tidsmessige dynamikken i køen. Så godt som alle modeller som kan dette, er også dynamiske. Statistiske modeller er vurdert som tilstrekkelig bare hvis omfanget av kø er lavt.

Når man vil predikere effekten av intelligente transportsystemer (sanntidsinformasjon, trafikkavhengige fartsgrenser osv.), er det ofte nødvendig at man i tillegg har en detaljert fremstilling av kjøretøytyper, kjøretøyutstyr eller egenskaper til sjåfører/passasjerer. Mange slike tiltak vil også kreve en fremstilling av kjøretøy og infrastruktur som går ned til et nivå med detaljerte kjøretøybevegelser. Derfor krever ITS-analyser en disaggregert (minst meso- om ikke mikroskopisk) representasjon av trafikkflyten.

Transporttetterhetsregulering erkjenner at effektiviteten av tiltak på tilbudssiden (kapasitetsutbygning, ITS) er begrenset. Etterspørselsregulering tar sikte på å påvirke reisevaner på en måte som fører til en generell bedring av ytelsen i transportsystemet. Ofte vil det kreve en tilstrekkelig grad av realisme i adferdsmodelleringen. To viktige aspekter er (i) det faktum at de forskjellige turer utført av en enkelt reisende er forbundet med hverandre på en ganske komplisert måte og (ii) at de forskjellige reisende kan respondere svært ulikt på samme tiltak. Aspekt (i) krever en dynamisk adferdsmodell, og aspekt (ii) krever en disaggregert adferdsmodell. Aktivitetsbasert etterspørselsmodellering (ABDM) oppfyller disse kravene og er derfor regnet som den mest dekkende tilnærmingen i sammenheng med etterspørselsregulerende tiltak. ABDM passer best sammen med en dynamisk og disaggregert trafikkavviklingsmodell i et strategisk modellsystem.

Det samme gjelder vinner/taper-analyser. Når man skal analysere effekten et gitt tiltak har på velferden til individer, er det viktig å representere de heterogene og komplekse sammenhengene mellom sosio-demografi og mobilitet på en tilstrekkelig realistisk måte. Igjen virker en disaggregert adferdsmodell for transporttetterhetsregulering å

være best. Hvis adferdsmodellen er basert på en syntetisk befolkning (som i de fleste aktivitetsbaserte modeller), har man en stor fordel sammenlignet med segmentbaserte etterspørselsmodeller på matriseform: En syntetisk befolkning krever ingen a priori aggregering. Det betyr at man kan beregne sammendragsstatistikker over vilkårlige undergrupper av etterspørselen etter at modellen har blitt evaluert. Diskusjonen gjelder også nyttekostnadsanalyser som tar hensyn til heterogenitet av brukerne (for eksempel ved å ta med inntektsforskjeller).

Behovet for disaggregerte etterspørselsmodeller er noe lavere for «vanlige» **nytttekostnadsanalyser som bruker enhetspriser** for forbedringer i transport (f.eks. bruker samme tidsverdi for reisetidsbesparelser i 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, er beregning av reisetider i købelastede områder imidlertid grov og unøyaktig. En annet ulempe med statiske modeller (basert på volume-delayfunksjoner) er at de ikke uten videre kan skille mellom trafikk i kø og i fri fart. Denne informasjonen kan imidlertid være viktig for en samfunnsøkonomisk vurdering fordi reisetidsbesparelser i kø er verdsatt høyere enn besparelsene i fri fart. En dynamisk og meso-/mikroskopisk trafikkavviklingsmodell er naturligvis den beste tilnærmingen for å gi nødvendig informasjon til å skille mellom reisetidsbesparelser i køtrafikk og fri fart.

Spesielt for nyttekostnadsanalyser hvor man direkte sammenligner scenarier, er det viktig at modellresultatene kan ansees som robuste. **Robusthet** er tett knyttet til hvordan usikkerheten (stokastikken) tas med i modellen. Makroskopiske modeller som i all hovedsak er deterministiske, forutsier ingen usikkerhet i de endogene prosesser som beskrives av modellen. Usikkerhet i prediksjoner er i så fall bare uttrykt ved usikkerhet i eksogene inndata (befolkningsvekst, bensinpriser osv.). Meso- eller mikroskopiske modeller er stokastiske. Dette innebærer at enkelte modellkjøringer med identiske inndata fører til forskjellige modellresultater. For scenariosammenligning bør det derfor gjøres flere modellkjøringer og fordeling over prediksjoner skal være utgangspunkt for evaluering. Dette kan være tidskrevende, men anses som den mest korrekte måten å vurdere komplekse systemer på (for hvilke det ikke finnes «perfekte» modeller).

Etterprøvarhet av modeller er også en viktig egenskap. For å oppfylle denne egenskapen bør modellen være transparent og konseptuelt forståelig. Mikroskopiske simuleringer forsøker å etterligne virkelige prosesser, og fremstår dermed intuitive. På den annen side gjør det relativt store antall finkornede prosesser det vanskelig å intuitivt forstå de detaljerte årsak-virkningsforhold. Den iboende stokastikken ved meso-/mikro-simuleringer krever også noe statistisk skolering for kunne håndtere den tilfredsstillende. Det motsatte utsagnet er sant for makroskopiske simuleringer: Deres typiske matematiske problemformulering er ganske vanskelig å forstå, men når det er forstått kan man avlede relativt klart de underliggende årsak-virkningsmekanismer. Den ofte (men ikke alltid) garantert unike likevektsløsningen av makroskopiske modeller kan anses som en praktisk fordel som letter tolkningen når man sammenligner scenarier. Men samtidig kommer også risikoen for at man ignorerer andre løsninger av systemet som kan være like gyldige. Stokastiske modeller (på korrekt vis) gir mulighet for ulike systemløsninger.

Siden hver aggregering inneholder et informasjonstap og begrenser analysemulighetene, tilbyr mikromodeller den største **bredden i analysemuligheter** og makroskopiske modeller den minste bredden.

Modellens **beregningstid** kan variere betydelig for ulike metoder, og ansees som en viktig faktor i praksis. I utgangspunktet bruker dynamiske metoder lenger tid enn statiske modeller. En sammenligning mellom aggregerte modeller (segmenterte makromodeller som løses i matematiske programmer) og disaggregerte modeller (meso/mikro modeller som løses ved simulering av individer) avhenger sterkt av hvor mye heterogenitet man vil fange opp. En ikke-segmentert makromodell tar ikke lang tid å kjøre gjennom, men beregningstiden stiger (omtrent lineært) med antall segmenter. RTM som kan inneholde flere hundre segmenter, kan derfor ta ganske lang tid. Simuleringsmodeller med en gitt syntetisk populasjon har en konstant beregningstid uavhengig av hvor mange bakgrunnsvariabler man tilordner beslutningstakerne eller kjøretøyene.

Dynamiske modeller er mer krevende enn statiske modeller når det gjelder **implementering, kalibrering og bruk**. De er basert på tidsavhengige inndata og krever kalibrering av parametere som er avhengig av sine dynamiske mekanismer. De krever også en forståelse av disse mekanismene fra brukerne.

Modellens egenskaper «**fleksibilitet og utvidelsesmuligheter**» refererer til muligheten for å oppdatere modellsystemet i tråd med fremtidige behov. Dette er viktig fordi "levetiden" til et strategisk transportmodellsystem kan være flere tiår, noe som gjør spontane investeringer i helt nye modellsystemer vanskelig. Her bør det understrekes at det er svært vanskelig/umulig å snu et statisk modellsystem til et dynamisk modellsystem eller å snu et makroskopisk modellsystem til et meso-/mikroskopisk modellsystem.

Vurdert over alle de omtalte kriterier, så anbefales en meso/mikroskopisk modell for trafikkavvikling gitt at man har tilstrekkelige ressurser med tanke på økonomiske rammer, tid og kapasitet, samt tilfredsstillende tilgang til data. Det er naturligvis også avgjørende å ha fagfolk med tilstrekkelig kunnskap tilgjengelig. Spørsmålet om mikroskopisk versus mesoskopisk handler om hvilke krav som stilles til detaljeringsnivå på nettverket/trafikkflyt og hvilke beregningstider man er villig til å akseptere. For de fleste strategiske planleggingsformål virker mesoskopiske trafikkmodeller å gi tilstrekkelig detaljert informasjon, og disse er i tillegg i stand til å gi akseptable beregningstider selv for svært store scenarier (opp til 10 millioner biler).

Muligheter for Norske modeller

Rapporten beskriver også mulig modellutvikling for noen «norske» modeller. Fire forskjellige steg av ulikt omfang er kort diskutert.

- **Beholde opplegget med statisk avvikling** i RTM (TraMod_by koblet med Cube Voyager) med sikte på å bruke en finere inndeling av tidsperioder. Dette motiveres av at nåværende inndeling i fire perioder muligens ikke gir tilstrekkelig informasjon om reisetidsvariasjon over en dag. En turgenereringsmodell som kan produsere turer på time-nivå med formål å iterere mellom nettverks- og etterspørselsmodell per time kunne tenkes. Imidlertid setter den statiske naturen sterke restriksjoner på hvor presis en slik modell kan bli.
- **Koble TraMod_by med dynamisk avviklingsverktøy (Aimsun Meso)**. En slik re-kobling virker teknisk mulig og vil forbedre beregningen av LoS-data (spesielt kjøretidene). Ulike datastrukturer er imidlertid en utfordring og en slik

prosedyre vil innebære informasjonstap blant annet fordi den dynamiske nettverksinformasjon ikke kan brukes fullt ut i TraMod_by.

- **Implementering av MATSim standardmodell (som taktisk modell).** TØI har forsøksvis bygget en MATSim modell for Trondheimsregionen. Flere elementer ved modellen bør forbedres og utvides (veikapasitetsvalidering, simulering av kollektivtransport bl. annet). I så fall vil man få en modell for dynamiske analyser på nettverket og kortsiktige etterspørselsendringer. Den kunne bl. annet brukes for å validere reisetider/trafikkavvikling estimert i RTM. Gitt tilgjengelig inndata kan modellen relativt lett implementeres for andre regioner i Norge.
- **Bygge en state-of-the-art strategisk transportmodell.** Som ideelt modelloppsett for strategiske analyser kunne man tenke seg å implementere en aktivitetsbasert etterspørselsmodell basert på en syntetisk befolkning. En slik etterspørselsmodell kan da bli koblet opp mot en dynamisk og meso/mikroskopisk trafikkavviklingsmodell. Den modulære strukturen til MATSim vil kunne brukes som koblingsverktøy også dersom man senere ønsker å implementere en trafikkavviklingsmodell som er enda mer detaljert enn den som brukes i standard MATSim.

De fire mulige aktivitetene som er beskrevet utelukker ikke hverandre og det kan tenkes at man kan jobbe parallelt med disse. Den fjerde aktiviteten vil være et langsiktig forskningsprosjekt, mens de andre aktivitetene burde være mulige å gjennomføre på relativt kort tid gitt at ressurser og fagfolk kan samles.

Oppsummering

Statiske trafikkavviklingsmodeller (nettverksmodeller) er utilstrekkelige for å beregne trafikkstrømmer og reisetid i købelastede byområder. Disse modellene forutsier momentane nettverksstrømmer, og kan dermed ikke fange opp de tidsmessige og romlige dynamikkene av trafikkflyten. De fleste statiske modeller er basert på volum-delayfunksjoner (VDF) som predikerer reisetidsforsinkelser som en stigende funksjon av trafikkmengde, men uavhengig av trafikktettheten (omfanget av køen). Dette gjør estimater av reisetider i køtrafikk unøyaktige. Det samme gjelder estimater for trafikkstrømmer. VDF-baserte modeller kan predikere trafikkstrømmer som overstiger gatenes fysiske kapasitet. En annen svakhet forbundet ved statiske modeller, som er spesielt alvorlig i sammenheng med urbane områder, er at disse modellene ikke kan fange opp tilbakevirkning av flaskehalser til andre gater. Dette gjør beregning av reisetid og prediksjon av veivalg for oppstrømlenker som er berørt av flaskehalser, unøyaktig.

Et opplagt spørsmål til en strategisk transportmodell, altså et modellsystem som kobler en transportetterspørselsmodell med en nettverksmodell/trafikkavviklingsmodell, er om og eventuelt hvordan en statisk nettverksmodell kan erstattes med en dynamisk trafikkavviklingsmodell. Dynamiske trafikkavviklingsmodeller finnes i ulike oppløsninger og versjoner; fra (aggregerte) makroskopiske modeller til (fullt disaggregerte) mikrosimuleringsmodeller. Hvilke koblinger som er tilstrekkelige er sterkt knyttet til datastrukturen til ulike modellkomponenter. En statisk/makroskopisk etterspørselsmodell (f. eks. TraMod_by) produserer OD-matriser som

er naturlige komponenter i statiske/makroskopiske nettverksmodeller (f. eks. EMME, Cube Voyager) som produserer LoS-matriser på samme sonenivå. Hvis man kobler en statisk/makroskopisk etterspørselsmodell med en dynamisk meso- eller mikroskopisk modell (f.eks. kobling av TraMod_by med Aimsun meso) er datastrukturene ikke direkte kompatible. For å oppnå en slik teknisk kobling trengs det metoder for å disaggregere etterspørselen basert på eksogene data. For å få den iterative prosessen til å gå opp må også de detaljerte beregningene av reisetiden og andre nettverksforhold fra trafikkavviklingsmodellen aggregeres på et sonenivå før de kan brukes i den aggregerte etterspørselsmodellen. Dette vil alltid innebære noe informasjonstap.

For strategiske transportmodeller er derfor spørsmålet om hva som er en aktuell trafikkavviklingsmodell sterkt koblet til spørsmålet om hva som er hensiktsmessige reiseetterspørselsmodeller. Til en dynamisk meso/mikroskopisk trafikkavviklingsmodell passer det best med en etterspørselsmodell som kan utnytte den dynamiske og detaljerte nettverksinformasjonen som produseres. De beste transportetterspørselsmodellene er derfor også dynamiske og disaggregerte. Aktivitetsbaserte etterspørselsmodeller (ABDM) basert på heldags reise/aktivitetsplaner er aktuelle for det formål. Disse modellene har et sterkere fundament i adferdsmodelleringen, og kan bygges på en syntetisk befolkning slik at man i stor grad får fanget opp de reisendes heterogenitet.

Vår evaluering av metoder for trafikkavvikling beskriver dynamiske meso- eller mikromodeller som mest egnet for alle (vurderte) analysehensikter i købelastede byområder. De største fordelene er knyttet til en realistisk modellering av kø og bredden i analysemuligheter (muligheten til å aggregere resultater på alle ønskelige måter). Disse modellene har imidlertid noen utfordringer/ulempen i praksis. De krever mer detaljerte inndata, er mer krevende med hensyn på implementering, kalibrering og bruk og stiller høyere krav (ekspertkunnskap) på brukersiden.

Stokastikk i dynamiske meso/mikro-modeller er beskrevet som konseptuelt fordelaktig, men det innebærer også noen utfordringer ved praktiske anvendelser. Stokastikk gjør at hver enkelt modellkjøring kan gi forskjellig resultat. Derfor bør fordelinger av prediksjoner (snarere enn faste punktestimater) sammenlignes. Dette kan være tidkrevende, særlig for analyser hvor mange alternativer/scenarioer skal sammenlignes med hverandre.

Uansett type er alle strategiske transportmodellsystemer svært kompliserte. Det gjør at brukerkompetanse blir en avgjørende faktor. For en (mulig) overgang i Norge til dynamiske modeller er det derfor uunngåelig å måtte utdanne (potensielle) brukere i teori og praksis knyttet til de nye metodene. Internasjonalt samarbeid er en effektiv måte å nå dette målet på.