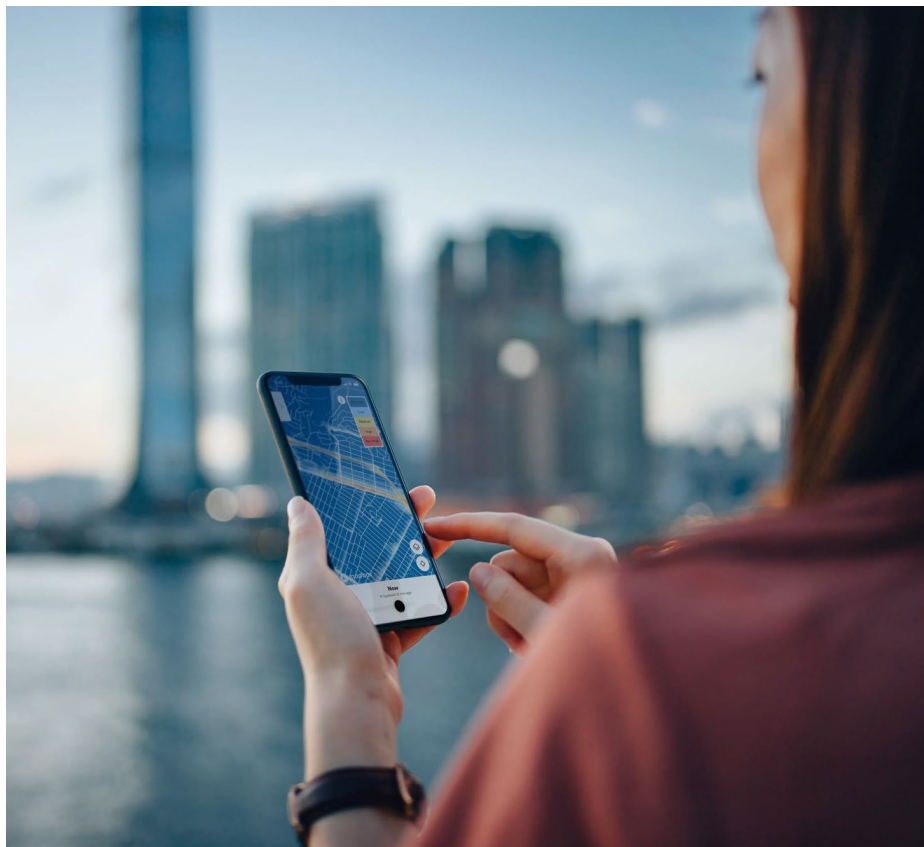


Beregnet til
Statens vegvesen

Dokument type
Notat

Dato
27.03.22

VURDERING AV FRAMTIDIG TRANSPORTMODELLEBEHOV I OG UTENFOR BYOMRÅDER



VURDERING AV FRAMTIDIG TRANSPORTMODELLEBEHOV I/OG UTENOM BY

Oppdragsnavn **Framtidens transportmodeller**
Prosjekt nr. **1350049231**
Mottaker **Statens vegvesen ved Oskar Kleven, Børge Bang og Stig Nyland Andersen**
Dokument type **Notat**
Versjon **1.0**
Dato **27.03.2022**
Utført av **Øyvind Lervik Nilsen, Torbjørn Stigen og Olga Petrik**
Kontrollert av **Erik Spilsberg og Marius Fossen**
Godkjent av **Øyvind Lervik Nilsen**
Beskrivelse **Notat som skisserer videre utviklingsløp for de strategiske transportmodellene i Norge**

Rambøll
Fjordgaten 15
N-3125 Tønsberg

T +47 22 51 80 00
<https://no.ramboll.com>

INNHALDSFORTEGNELSE

1. INNLEDNING	6
2. ANALYSEBEHOV I BY OG LAND.....	7
2.1 ANALYSEBEHOV UTENFOR BY	7
2.2 ANALYSEBEHOV I BY	10
2.3 TRENDER OG USIKKERHET	11
2.4 HVILKE MODELLER BRUKES I ANDRE LAND	11
3. MULIGE MODELLVERKTØY TIL Å DEKKE ANALYSEBEHOVET	13
3.1 ULIKE TYPER TRANSPORTMODELLER OG HVA KJENNETEGNER DEM	13
3.2 FORDELER OG ULEMPER MED DE ULIKE MODELLTILNÆRMINGENE.....	18
3.3 DATABEHOV, UTVIKLINGSKOSTNADER OG EKSISTERENDE VERKTØY	19
3.4 NYE DATAKILDER OG NYE MULIGHETER	21
3.5 USIKKERHET	22
3.6 HVILKE EGENSKAPER BØR MODELLENE HA I OG UTENFOR BY	22
4. EN MULIG VEI FRAMOVER	24
4.1 FORSLAG TIL TRANSPORTMODELLFORBEDRINGSTILTAK UTENFOR BY.....	24
4.2 FORSLAG TIL TRANSPORTMODELLFORBEDRINGSTILTAK I BY	27
5. REFERANSER	30

Sammendrag

Statens vegvesen har i forbindelse med virksomhetstiltaket «transportmodeller-samfunnsøkonomi-grunnlagsdata» igangsatt et arbeid med å komme med innspill til videreutvikling av transportmodellverktøyet i etaten. I forbindelse med dette har Rambøll blitt bedt om å se på hvordan fremtidens transportmodeller bør være i og utenfor byområder på kort (< 4 år) og lang sikt (4-10 år). Problemsstillingen er i hovedsak drøftet gjennom en kombinasjon av litteraturstudier og intervju med ekspertbrukere i inn og utland samt egne erfaringer med verktøyene. Gjennom arbeidet ble det klart at det er størst usikkerhet knyttet til modellutvikling for de strategiske modellene. Det har derfor også vært hovedfokus for arbeidet.

Transportmodeller er primært et verktøy for å kunne gi et bedre beslutningsgrunnlag om hvordan ulike trafikale tiltak er med på å oppnå prosjektets prosjektmål. Målene vil ofte være avhengig av geografisk kontekst. Det vil derfor være ulike mål som er viktig i og utenfor by. I og med at målene vil være forskjellige, vil også analysebehovet være forskjellig. Utenfor by er det et stadig større fokus på samfunnsøkonomisk lønnsomhet og bruke dette til å prioritere mellom prosjektene gjennom porteføljestyling og optimalisering. I by er det i tillegg et økende fokus rundt å sikre en bærekraftig transportutvikling gjennom nullvekstmålet. Kompleksiteten i det trafikale bildet og mengden aktuelle tiltak er mye større i byområder. Dette gjør at det stilles større krav til transportmodellene i byområder.

Hvilke egenskaper bør transportmodellene utenfor by ha?

Den nasjonale og regionale transportmodellen i Norge i dag synes på mange måter å dekke analysebehovet utenfor by. For områder med mindre kapasitetsproblemer og konkurranseflater mellom reisemidler vil firetrinnsmetodikken som ligger til grunn være et godt egnet verktøy til å hjelpe til med prioritering mellom alternativer også i fremtiden. Et alternativ til firetrinnsmetodikken er aktivitetsbaserte modeller. Per nå er dette lite utprøvd i Norge, og det er nok mer aktuelt å begynne å se på slik modeller i byområder først. Når man har opparbeidet seg kunnskap om hvordan aktivtetsbaserte modeller fungerer i en norsk kontekst kan man vurdere mulighetene for å også benytte dette utenfor byområder. Per nå anbefaler vi å vente med dette til man har en slik kunnskap. Dette fordi det kan være betydelig utviklingskostnader og usikkerheter forbundet med dette samt det å få frem mer detaljert beregning turkjeder, avreisetidspunkt og valgene hvert enkelt individ gjør synes viktigere i byer hvor kompleksiteten og konkurranseflatene er større og hvor man har et vegnett som har kapasitetsbegrensninger.

I forhold til rutevalgsalgoritmer benytter RTM i dag incremental loading. Tilnærmingen er i stor grad deterministisk, og man vil få samme beregningsresultat hver gang man kjører beregningen. Det finnes også nettutleggingsalgoritmer som er stokastiske. Hovedfokus i beregninger utenfor byområder er ofte trafikanntytte. Trafikanntytteforskjellene av at bilister velger ruter som er marginalt forskjellig synes på å mange måter liten. Videre kan en stokastisk tilnærming gi trafikale endringer langt unna der hvor tiltak er noe som kan være vanskelig å forklare til beslutningstagere. Videre må man kjøre flere beregninger for å få frem gjennomsnittsverdier.

For modellene utenfor byområder synes det som viktig å fokusere på å redusere beregningstiden, og samtidig få øke omlandet til modellene slik at man sikrer at samtlige trafikale endringer blir inkludert i en og samme modell (korte, lange personer reiser og gods). Videre bør man se på måter å få økt innsikt i usikkerheten til beregningsresultatene gjennom bruk av scenarioberegningsmetodikk eller Monte Carlo simulering.

Hvilke egenskaper bør transportmodellene i by ha?

I dag benyttes RTM som verktøy for strategiske analyser i byområder i Norge. Selv om modellen er detaljert til å være en firetrinnsmodell i form av mange tidsperioder, multimodal og har kapasitetsavhengig beregning av både etterspørsel og rutevalg for biltrafikken vil den på grunn av sin oppbygning ikke kunne fange opp alle endringer som man kanskje skulle ønske i byanalyser. I etterspørselssammenheng gjelder dette kanskje spesielt faktorer knyttet avreisetidspunkt, turkjeder, husholdningsintern dynamikk og reisemiddelvalg på korte reiser. Videre er beregningen av kollektivtransport på enkelte områder forenklet. Dette gjelder kanskje spesielt i forhold til beregning av trengsel og korrespondanse mellom kollektivmidler. Dette beregnes i dag i liten grad i modellverktøyene.

Rutevalget som gjøres i RTM i dag er deterministisk også i byområder. Forsinkelse er beregnet gjennom volm-hastighetskurver på lenkenivå. I byområder er ofte kryssene dimensjonerende for fremkommeligheten. Ved bruk av kun lenkekapasitet står man i fare for å overestimere fremkommeligheten på vegnettet fordi disse kurvene ikke tar innover seg kapasitetsbegrensningene som kommer fra kryssene. En kan derfor argumentere for at man også i strategiske analyser bør ha en mer dynamisk nettutlegging hvor hvert kjøretøy modelleres enkeltvis. Det er verdt å merke seg at ved å introdusere stokastisk beregning av rutevalget vil det gi økt beregningstid, samt behov for flere beregninger av samme alternativ for å finne effekten av hvert tiltak. Videre kan det gi utfordringer i forhold til å få modeller som konvergerer. I vegnett som nærmer seg kapasitetsgrensen vil mindre endringer i etterspørsel for bil kunne gi ganske store forskjeller i rutevalg og købelastning på vegnettet. Derfor kan det synes som en fordel å ha en deterministisk nettutlegging av trafikken for prognoseår langt frem i tid (+20 år).

Både i litteraturen og i andre land har det blitt et økende fokus på bruk av agent eller aktivitetsbaserte modeller for analyser i byområder. Ved bruk av aktivitetsplaner for hvert enkelt individ modelleres sammenhengende turkjeder. Videre gir modellene mulighet for en høyere geografisk detaljering enn hva enn hva som er i RTM i dag og estimering av endring i avreisetidspunkt. Modellene er også mer fleksible for å kunne beregne av nye transportformer som MaaS eller autonome kjøretøy, og kan også kobles mot meso og mikromodeller. Dette har blant resultert at man i både Sverige og Danmark har gått i gang med etablering av slike modeller for byområder. I Norge har man per dags dato lite kunnskap om hvordan slike modeller fungerer i en norsk setting.

En mulig vei framover

Som en mulig vei framover foreslår vi piloter. Pilotene vil kartlegge potensialet for å implementere ulike forbedringer og utvidelser i modellverktøyet. Etter hver pilot må man gjøre en vurdering av om dette kan skaleres videre eller om det er behov videre forskning/empiri før implementering. Pilotene er ytterligere beskrevet i notatet. Timeestimatene må ansees som usikre.

Forslag til utviklingsaktiviteter for modeller som skal brukes utenfor by

Hva	Hvorfor	Timeestimat
Implementere usikkerhet i transportanalysene	Samfunnsøkonomiske analyser blir viktigere i prioritering av prosjektene. Viktig å forstå usikkerheten i beregningene for beslutningstagere.	Kort sikt: 750 t Lang sikt: 750 t
Samlet korte og lange reiser i en transportmodell	I dag beregnes etterspørselen av korte og lange reiser i to forskjellige modeller. Lengre strekninger gir økt fokus på å se disse samlet samt det vil kunne bidra til mer konsistente beregninger og redusere beregningstiden	Kort sikt: 500 – 750 t Lang sikt: 500 – 750 t
Redusere beregningstiden og forenkle/automatisere arbeidsprosesser	Samfunnsøkonomiske analyser blir i større grad en premissgiver i optimaliseringsfasen i prosjekter. Slik verktøyene er i dag er beregningstiden for lang til å de ofte greier å være det.	Kort sikt: 500 – 750
Oppdatering av fartsmodellen	Reisetid er en svært sentral i beregning av trafikanntytte. Endring i kjøretøyparken og økt datagrunnlag fra alternative datakilder vil gi økt innsikt i fartsprofilene både i og utenfor byområder	500 – 1500 t
Innsikt i byspredning fra større samferdselsprosjekter	Utbygging av lengre vegprosjekter til/fra og mellom byer vil kunne gi byspredningseffekter som ikke kartlegges i dagens verktøy. Implementering av LUTI modeller i analyser utenfor by vil kunne gi innsikt i dette	Usikkert.
Felles plattform for presentasjon av NKA analyser og erfaringstall	Et økende fokus på porteføljeprioritering vil gi behov for å kunne vise resultatene både internt og eksternt i større grad enn tidligere. Videre vil det være økt behov for å kunne dele erfaringer fra analyser i tiden framover på grunn av økt usikkerhet knyttet til hvordan transportetterspørselen vil endre seg.	500 – 1000 t

I tabellen under er det gitt forslag for videre utvikling av modeller i byområder.

Forslag til utviklingsaktiviteter for modeller som skal brukes i by

Hva	Hvorfor	Timeestimat
Etablere en agent eller aktivitetsbasert transportmodell	Det er et behov for å kunne beregne turkjeder, husholdningsdynamikk og øke detaljeringsnivået på analyser i by for å kunne beregne effekten av flere tiltak som er sentrale for å nå nullvekstmålet. Anbefales å velge en middels stor by med godt RVU grunnlag.	500 – 1000 t
Utfordre IT og transportmiljøet på å ta i bruk nye datakilder i forhold til transportmodellering	Det har i den senere tiden vært en økende tilgang på ulike former for GPS data som kan gi bedre prediksjon av lokalisering og reisemiddelvalg i transportmodellene. I denne piloten bør man kartlegge mulighetene som ligger i bruk av AI/maskinlæring.	500 – 1000 t
Integrering av LUTI modeller i beregning av fremtidig transport etterspørsel	Et sentralt virkemiddel for å oppnå en mer bærekraftig transportutvikling er samordnet areal og transport. Ved hjelp av forenklede LUTI modeller kan man hensynta dette i analyser i by.	
Etablere faggrupper på tvers av landene	Mange av landene står i de samme utfordringene knyttet til utvikling av transportmodellverktøyet, og noen land har kommet lengre enn andre i å teste ut nye tilnærminger. Økt erfaringsoverføring vil være hensiktsmessig for å redusere risikoen for feilinvesteringer i forhold til modellutvikling.	

1. INNLEDNING

Statens Vegvesen har i forbindelse med virksomhetstiltaket (VU) «Transportmodeller-Samfunnsøkonomi-Grunnlagsdata» igangsatt et arbeid med å komme med innspill til videreutvikling av transportmodellverktøyene i etaten. I den forbindelse er forsker og konsulentmiljøet engasjert. Arbeidet startet opp i 2021 (se blant annet (Flügel, 2021), Norconsult (2021), Sintef (2021), COWI (2021)), og man skal i 2022 gå et steg videre med ytterligere konkretisering rundt problemsstillinger man ønsker belyst og drøftet for å få et bredere beslutningsgrunnlag. Samlet vil arbeidet være innspill til en plan for utviklingen transportmodellene i Norge på kort og lang sikt. Kort sikt defineres her som mindre enn 4 år, mens langsikt er i dette arbeidet definert som mellom 4-10 år.

I denne sammenhengen er Rambøll bedt om å belyse og drøfte følgende problemsstilling:

- *Hvilke modellbehov vil det være i og utenom by i fremtiden? Bør vi bruke de samme modellene begge steder?*
- *Hvilke type modeller bør vi ha, og bør de være statiske/dynamiske, aggregerte/individbaserte, tradisjonelle/agentbaserte/aktivitetsbaserte/annet?*
- *Det ønskes også en overordnet oversikt og vurdering av hvordan dette gjøres i andre land, og hvilke typer modeller som brukes her*

Problemsstillingen er i hovedsak belyst og drøftet med en gjennomgang av relevante artikler og rapporter i litteraturen, samt egne erfaringer med verktøyene. Dette vil sammen med kontakt med andre land og spesialistmiljø innenfor maskinlæring/AI og GPS data/mobildata danne grunnlaget for en liste med konkrete råd om hvilke egenskaper transportmodellene bør ha og hvilke databehov det medfører i fremtiden.

I enkelte sammenhenger vil det være hensiktsmessig med intervju av ekspertbrukere av modellene og sentrale personer i utviklingsprogrammene i etatene i Norge og andre land. Av spesiell interesse er kanskje agentbaserte modeller. Vi har derfor i arbeidet med notatet involvert to spesialister innenfor agentbaserte modeller fra Finland og Sverige. Disse har vært diskusjonspartnere og lest igjennom notatet. Det har ikke vært rammer til å gå dypere inn i hvordan ulike forskningsprogram er bygget opp i ulike land, og hvilke erfaringer man har gjort seg der. I den grad det har vært mulig har vi foreslått kontaktpersoner som man kan ta kontakt med for ytterligere informasjon.

Videre forutsetter vi i dette notatet at leseren er kjent med de norske transportmodellene, og vi har derfor ingen inngående beskrivelse av de regionale, nasjonale modellene eller meso- og mikromodellene. Vi har heller satt søkelys på styrker og svakheter ved modellene med tanke på framtidig analysebehov. Hovedfokuset i arbeidet har vært de strategiske modellene, da det underveis i arbeidet syntes viktigst å få gitt konkrete råd i forhold til videre utvikling av disse.

Notatet belyser først analysebehovet i by og utenfor by i kapittel 2. I kapittel 3 er egenskapene og databehovet hos de ulike modellverktøyene gjennomgått. Dette danner grunnlaget for konkrete forslag til hvilke egenskaper modeller i og utenfor by bør ha i fremtiden. Videre trekker vi inn erfaringer fra andre sammenlignbare land som Sverige, Danmark, Finland og enkelte andre land i Europa i kapittel 3 og 4. Samlet gir dette grunnlag for å foreslå konkrete råd om videreutvikling av verktøyene i og utenfor by i tiden framover.

2. ANALYSEBEHOV I BY OG LAND

Transportmodeller er primært et verktøy for kunne gi et bedre beslutningsgrunnlag om trafikale virkninger av ulike tiltak i et prosjekt og kunne sammenligne resultater på tvers av prosjekter. Dette er viktig for å kunne sikre at de riktige grepene blir gjort i forhold til å få måloppnåelse internt i hvert enkelt prosjekt, samt å bidra til å prioritere riktige mellom prosjekter.

Transportmodeller benyttes ofte i forbindelse med strategisk planlegging, hvor man kartlegger ulike virkemidler/tiltak man kan iverksette for å oppnå målsetningene med prosjektet (Samset, 2014). Målene vil ofte være avhengig av geografisk kontekst, og det vil være ulike mål som er viktig i og utenfor by. I og med at målene vil være forskjellige, vil også analysebehovet være forskjellig. Analysebehovet defineres her som hva transportmodellen må brukes til for å kunne svare ut målene i prosjektet.

2.1 Analysebehov utenfor by

Vegprosjekter utenfor byområder kjennetegnes oftest ved at de skal gi bedring i fremkommeligheten, forstørre av bo og arbeidsmarked og/eller gi bedring av trafikksikkerheten. På mange måter er prosjektene utenfor by mindre komplekse, og mer oversiktlige trafikalt. De kjennetegnes ved en høy andel lengre reiser, små konkurranseflater mot alternative transportmidler og god fremkommelighet. For de fleste prosjekter utenfor by brukes de nasjonale og regionale persontransportmodellene. I hovedsak benyttes resultater fra transportmodeller utenfor by til:

- Grunnlag for samfunnsøkonomiske analyser (i forbindelse med KVV, kommunedelplaner, reguleringsplaner med KU, porteføljeprioriteringer m.m) både for å rangere prosjekter opp mot hverandre og sammenligne alternativer innenfor ett prosjekt.
- Grunnlag for finansieringsanalyser (bompengeproposisjoner, inntekspotensial)
- Grunnlag for vurdering av konkurranseflater f.eks veg/jernbane

Både på kort og lang sikt vil modellene utenfor by i stor grad også brukes til dette, men det er noen endringer som nok vil gjøre seg gjeldende i fremtiden. Disse vil bli gjennomgått i de neste delkapitlene.

Behov for å kartlegge trafikale virkninger av stadig større prosjekter

En tendens de siste årene, og som også ser ut til å være viktig i NTP 2022-2033, er at det fokuseres på lengre strekninger av gangen (Samferdselsdepartement, 2021). Dette gir større trafikalt omland, og kan gi rutevalgsendringer langt unna prosjektet. Videre kan man forvente endringer i etterspørsel på både korte og lange reiser og kanskje godstransport. Det er i så måte et større behov for å kartlegge effektene av alle disse tre samtidig.

Trafikksammensetningen på flere av disse strekningene gjør at tidspunktene med høyest trafikkb belastningen ofte er utenom vanlige rushperioder, og er knyttet til helgetrafikk. Dette vil avvike fra standardoppsettet som er i RTM i dag hvor man beregner en gjennomsnittlig morgen og ettermiddag mellom mandag og fredag.

Behov for samfunnsøkonomiske analyser gjennom ulike faser av planleggingen

Det har i den senere tid vært et større fokus på samfunnsøkonomisk lønnsomhet for prosjekter utenfor byområder (Halse et al., 2022). Både Nye Veier og Statens vegvesen har dette som sentrale punkter i sin virksomhetsplan. Nye Veier skal oppnå høyest mulig samfunnsøkonomisk lønnsomhet i de veiprosjektene de har (Nye Veier, 2020), mens Statens vegvesen har som mål å

bygge mer vei for pengene. I dette ligger det optimalisering av veiprosjekter i forhold til samfunnsøkonomi. Dette gjenspeiles også i Nasjonal Transportplan for perioden 2022-2033 (Samferdselsdepartement, 2021). Mens samfunnsøkonomiske analyser tidligere hovedsakelig ble gjennomført i forbindelse med prosjektprioritering og alternativsvalg, registrerer vi at det i større grad brukes som del av optimaliseringsprosessen for det enkelte prosjekt samt porteføljestyring.

Behov for at de samfunnsøkonomiske analysene kan følge stram fremdrift

Fokuset på samfunnsøkonomiske lønnsomhet gjør at de i større grad enn tidligere blir en premissgiver for valg av løsninger. Det er derfor viktig at man får gjort disse vurderingene tidlig i prosjektprosessen. Dette stiller krav til at verktøyene raskt må kunne gi de samfunnsøkonomiske konsekvensene av endringer i prosjektsomfang (endring av trase, hastighet, kryssplassering mm) på et beslutningsrelevant nivå samt gjøre det mulig å være proaktiv i prosjektene i forhold til mulige løsninger. På vegsiden har det skjedd betydelige forbedringer på dette punktet gjennom for eksempel Trimble Quantum som raskt beregner mulige vegtraseer mellom A og B og kostnadsestimat på disse. Den samme utviklingen har ikke skjedd i like stor grad på transportmodellsiden. Enkelte unntak finnes, og Rambøll utviklet i 2020 et verktøy (Rapter) som automatiserte modellberegningsprosessen. Dette ga en besparelse i beregningstid på mellom 80 og 90 % og ble brukt i tidligfase av prosjektene. Videre jobber nå TØI med å se på måter å få ned beregningstiden på transportmodellene. Utom dette er nå har det skjedd lite for å få ned beregningstiden av transportmodellene.

Behov for bedre kunnskap om hastighet

Sentralt i den samfunnsøkonomiske lønnsomheten er brukernytten. I de aller fleste samferdselsprosjekter beregnes denne fra transportmodellen. En viktig del av brukernytten er tidsbesparelsen hver enkelt person opplever som følge av tiltaket. For å kunne gi gode estimat på reisetidsbesparelsen er man avhengig av et reisetiden på ny veg og gammel veg beregnes riktig.

Det er i transportmodellverktøyet benyttet GPS registreringer som basis estimeringen av friflytfart og volum/hastighetskurver (O A Hjelkrem et al., 2017). I arbeidet med hastighetsmodellen foreligger det lite empiriske data om friflythastighet på veier med friflyt fart på 110 km/t (Odd Andre Hjelkrem et al., 2020). Dette kan være problematisk da mange av de nye vegene som planlegges utenfor by ofte er enten 90, 100 eller 110 km/t, og man gjerne ønsker å skille mellom disse hastighetene i et samfunnsøkonomisk perspektiv. Fartsmodellen kontrollerer ikke for elementer som påvirker fremkommeligheten i by som signalanlegg, rundkjøringer og fotgjengeroverganger. Dette kan gi en overestimering av friflythastigheten i byområder.

Etter at arbeidet med hastighetsmodellen ble ferdig har det kommet flere datakilder som kan brukes til reestimering av hastighetsmodellen (TomTom mm). Nye datakilder kan også gi mulighet til å si noe om usikkerheten i hastighetene ned på lenkenivå og ta høyde for sesongvariasjon. I tillegg kan de benyttes til å videreutvikle hastighetsmodellen som ligger i modellverktøyet.

Behov for kartlegging av usikkerhet

Selv om det blitt økt fokus på samfunnsøkonomiske analyser har de også fått kritikk som beslutningsrelevant verktøy (Flyvbjerg & Bester, 2021; Halse et al., 2022; Willumsen, 2017). I Flyvbjerg & Bester (2021) gjennomgås et betydelig antall nyttekostnadsanalyser, og det trekkes frem at det er utfordringer knyttet kostnadsoverskridelser og overestimering av trafikantnytten. Videre trekker Halse et al., (2022) frem at forutsetningene for de parameterne som benyttes til å estimere modellene endrer seg, noe som gjør det vanskelig for beslutningstagere som ikke

kjenner modellen godt å ha tillit til resultatene. Disse studiene indikerer at det er en usikkerhet i de samfunnsøkonomiske beregningene, og at dette bør belyses.

Paradoksalt nok tas det lite hensyn til usikkerhet i dagens modellberegninger, men man i stor grad fremskriver historiske trender (Hoque et al., 2021; Willumsen, 2017). Dette har også gjort at Nye Veier i siste runde med porteføljeprioritering ønsket usikkerhetsanalyse av de nyttekostnadsberegningene som ble lagt til grunn for prosjektporteføljen deres. Det er et behov for at usikkerheten i større grad belyses i de analysene som gjøres. Dette spesielt med tanke på de endringene man står ovenfor innenfor teknologisk utvikling, endringer i demografi og mulige økonomiske endringer (Economics, 2021).

Behov for beregning av nulltutslippskjøretøy i fremtiden for korte og lange reiser

En sentral del av bompengeproposisjonene er trafikkgrunnlaget i bomstasjonene etter at ny veg er bygget. Videre vil det være behov for å ha kunnskap om trafikkbelastningen 20 år etter åpning da dette er dimensjonerende for prosjekteringen av selve vegene. En viktig faktor for beregning av inntektsgrunnlaget er andelen nulltutslippsbiler. Nulltutslippsbilene betaler lavere bompengetakster, og vil dermed kunne ta andre rutevalg og velge andre målpunkt for reisene sine. I transportmodellverktøyene i dag foreligger det kun egne matriser av nulltutslippskjøretøy for de korte reisene. På mange av strekningene er det en betydelig andel lengre reiser. Disse regnes per nå i transportmodellen kun som fossile noe som kan gjøre analyser av de trafikale virkningene og beregningene av bompengeinntektene utfordrende.

Behov en plattform for deling av beregningsresultater og effekter av prosjekter som er bygget

Økt fokus på porteføljestyling av prosjektene stiller større krav til at man har oversikt over beregningshistorikken til hvert prosjekt. Der er viktig å kunne forklare hvorfor det er forskjell i beregningsresultater fra sist gang det ble gjennomført beregninger. Videre er det et behov for å enkelt dele beregningsresultater og forutsetninger internt og eksternt.

Effekten prosjektet har hatt etter at det har blitt bygget har fått større fokus de siste årene gjennom for eksempel gevinstrealiseringsplaner. I disse planene kartlegger man enkelte KPI'er til å vurdere om man har nådd målene man satt seg da man jobbet med prosjektet. I og med at man har et fokus på samfunnsøkonomi og fremkommelighet vil det være naturlig at dette også måles etter at prosjektet er ferdigstilt. Statens vegvesen gjør regelmessig etterprøving av prissatte konsekvenser av vegprosjekter 5 år etter åpning. Men ofte er transportmodellen og grunnlaget for beregningene ikke tilgjengelig for gjenskapning flere år etter at beregningene ble gjort. Det er derfor behov for bedre rutiner knyttet til arkivering av grunnlaget, slik at man kan etterprøve i ettertid.

Videre vil en arkivering av effekten av ulike prosjekter være hensiktsmessig av andre grunner. Et nyttig verktøy for å vurdere rimeligheten av beregningsresultater, og hvilke endringer man kan forvente av ulike prosjekter (bompengeprojekter, fergeavløsning og rene motorvegprosjekter osv), er å sammenligne mot hva som har skjedd andre tilsvarende prosjekter (Flyvbjerg & Bester, 2021; ITF, 2017; Odeck & Kjerkreit, 2019). I USA har man for eksempel laget en nasjonal erfaringsdatabase for motorvegprosjekter hvor virkningene av disse er kartlagt. Effektene av prosjektene kan for eksempel illustrere gjennom enkelte KPI verdier eller gjennom mer omfattende etterprøvningsprosjekter.

Analysebehovet for områdene utenfor by har stort fokus rettet mot samfunnsøkonomi. Når man nærmer seg byområder endrer dette fokuset seg noe, da andre mål (særlig nullvekstmålet) får økt betydning og kan gi målkonflikter i forhold til samfunnsøkonomisk lønnsomhet.

2.2 Analysebehov i by

Analysebehovet i by styres i stor grad av nullvekstmålet, og til forskjell fra analysebehovet utenfor by, er kanskje ikke samfunnsøkonomisk lønnsomhet like sentralt. I NTP 2022-2033 (Samferdselsdepartement, 2021) trekkes dårlig fremkommelighet og forsinkelser i vegnett og kollektivsystemet frem som hovedutfordringer i byområder. Videre er det forventet at befolkning og velstandsvekst vil kunne gi en økning i transportbehovet, som igjen vil påvirke kapasiteten på vegnettet (Samferdselsdepartement, 2021). Det er derfor behov for verktøy som kan beregne effekten av ulike tiltak for å kartlegge i hvilken grad man når nullvekstmålet og greier å ta høyde kapasiteten på vegnettet. Disse tiltakene kan enten være knyttet til selve vegnettet, men det kan også være knyttet til parkering, arealstrategier, tilrettelegging for miljøvennlig transport og ulike former for økning av kostnader forbundet med å kjøre bil (bompenger, parkering, vegprising mm). Analysebehovet er i så måte komplekst. Det vil være mange ulike tiltak som vil være viktig å analysere og kombinere for å nå nullvekstmålet.

Tabell 1: Analysebehov i by

Analysebehov	Hvorfor
Beregne forsinkelse og fremkommelighet for både bil og kollektivtransport	Sikre fremkommelighet for næring og kollektivtransport.
Kartlegge effekten av arealstrategier	Sikre en bærekraftig arealutvikling som bygger opp under nullvekstmålet
Virkninger av fremtidens transport	En kan se for seg at robottaxier osv blir innført i byene på sikt
Virkninger av delingsøkonomi	Om økt bruk av bildeling mm vil kunne være et virkemiddel for å nå nullvekstmålet
Virkninger av mikromobiltet	Økt bruk av elsykkel, elsparkesykkel mm vil kunne være et aktuelt virkemiddel for å nå nullvekstmålet
Virkninger av tiltak på detaljert geografisk nivå	Flere av reisene i byene er korte og det er større konkurranseflate mellom flere reisemidler. Dette gir økt behov for å gjøre geografisk detaljerte analyser.
Endring av avreisetidspunkt	Rushtidstakster, tidsdifferensierte parkeringstakter og mer fleksibel arbeidstid vil kunne være virkemiddel for å nå nullvekstmålet.
Økt fleksibilitet i hverdagen	Vil kunne gi større endring av avreisetidspunkt destinasjon og antall turer
Parkeringsrestriksjoner	Parkeringskostnader og fjerning av parkeringsplasser vil kunne være et virkemiddel
Bompenger / tidsdifferensierte	Å øke kostnadene forbundet med bilreiser vil kunne være et tiltak for å nå nullvekstmålet
Sykkel/elsykkel	Tilrettelegging for sykkel og utbygging av sykkelvegnettet vil være et aktuelt virkemiddel

Tabell 1 illustrerer analysebehovet for byområder. Listen er nok ikke fullstendig, og det vil helt sikkert være flere virkemidler som vil kunne være med å nå målet om nullvekst. Listen illustrerer likevel størrelsen og kompleksiteten på analysebehovet, og i så måte kravene til modellene som

må brukes som et verktøy for å få indikasjoner på om man når nullvekstmålet eller ikke. I byområder er det aktuelt med flere tiltak, som vil kunne forsterke eller motvirke hverandre, som gjør dette komplekst, og i så måte øker behovet for bruk av modeller.

Hver enkelt reisende har mange flere valg enn utenfor by

Byområdene preges ofte av mange korte reiser (<10 km) hvor det vil kunne være konkurranseflater mellom ulike reisemidler. Videre vil det kunne være flere ulike reisemål som er aktuelle, slik at hver enkelt reisende vil stå ovenfor flere valg både knyttet til reisemiddel og destinasjon til reisemålet. I fremtiden vil en kunne forvente at mange i større grad også får fleksibilitet rundt avreisetidspunkt, og om man velger å gjøre aktiviteten hjemme eller ikke (trene eller jobbe hjemmefra). Dette gjør at valget hver enkelt reisende står ovenfor er langt mer komplekst enn hva som er tilfelle utenfor by, og det stiller i så måte og større krav til modellverktøyet.

Flere aktører involvert i prosjektprosessene

I byer er også det flere aktører involvert i prosjektprosessene. Dette gjør at behovet for å ha en felles beregningsplattform for transportvirkninger kanskje er enda viktigere enn det er utenfor by. Det er ikke bare Statens vegvesen og Nye Veier, men også i større grad fylkeskommuner, kommuner og kollektivselskap som vil kunne ønske å bruke transportmodeller til å kartlegge trafikale virkninger av ulike tiltak.

Kapasitet og kostnader på vegnettet og i kollektivtransporten

Byene kjennetegnes ved at de i perioder har trengselsproblemer både på vegnettet for bil og i kollektivtransporten. Økt reisetid på grunn av trengsel er sentral parameter for når man velger andre reisemidler, andre reisemål, rutevalg eller velger å reise på andre tidspunkt. Det er derfor essensielt at transportmodellverktøyene fanger opp trengsel i vegnettet.

2.3 Trender og usikkerhet

Hva som må inn i transportmodellene vil avhenge både av analysebehovet illustrert i kapittel 2.1 og 2.2, men også hvordan transportsystemet og dets rammebetingelser utvikler seg. Dette er avhengig av endringer i politiske forutsetninger, økonomisk vekst, inntektsutvikling, befolkningsvekst og endringer i demografi og teknologisk utvikling og vaner (Economics, 2021; Størdal et al., 2019; Willumsen, 2017). Dette betyr at endringer i alle disse, eller kun noen av de vil kunne endre transportbehovet i fremtiden. I rapporten fra Oslo Economics (2021) er det trukket opp fire ulike fremtidsscenarioer hvor man kartlegger hvordan endringer i teknologi og reisevaner vil kunne påvirke transportbehovet. Rapporten indikerer at det vil være en variasjon på rundt 30 % i beregningsresultater 2050. Transportmodellverktøyene i dag har ingen funksjonalitet for å si noe om usikkerhetsnivå i beregnet ÅDT eller trafikanntytte. Dette selv om det kan være betydelig usikkerhet i beregningene som gjennomføres.

Endringene gjør også at usikkerheten i selve analysebehovet vil øke etter hvor langt inn i fremtiden man går. I så måte bør man være forsiktig med å vektlegge elementer man tror vil komme på lang sikt i for stor grad i modellutviklingen, men fokusere på de elementene man ser for seg er på plass på kort og mellomlang sikt. Videre bør man kartlegge behovet, i den grad det er mulig, for grunnlagsdata for det man tror kommer på lang sikt.

2.4 Hvilke modeller brukes i andre land

I forbindelse med dette arbeidet er det gjennomført intervju med ekspertbrukere fra Sverige, Danmark og Finland. Utover det er det innhentet informasjon fra andre land funnet i litteraturen.

Sverige

I Sverige benyttes fire-trinnsmodellen Sampers (Trafikverket, 2022b) for modellering av persontransport, mens Samgods (Trafikverket, 2022a) er benyttet til modellering av godstransport på strategisk nivå. Modellene benyttes primært i forbindelse med analyser av prosjekter utenfor byområder. På mange måter er Sampers lik den norske transportmodellen, med en oppbygning av en nasjonal modell som beregner reiser over 100 km, og flere regionale modeller som beregner de korte reisene. Modellen er bygget opp i EMME. I byområdene brukes ulike verktøy både på strategisk og taktisk nivå.

Godsmodellen Samgods er lik den norske godsmodellen. Den benytter samme verktøy (CUBE), og har mye av den samme logikken i modellens oppbygning. For videre utvikling av verktøyet er det aktiviteter rundt beregning av kapasitet på tog og etterspørselsmodellen som har fått mest midler. For ytterligere informasjon rundt framtidig utviklingsaktiviteter for Samgods, se Trafikverket (2020).

Det er satt i gang en rekke aktiviteter knyttet til kortsiktig og langsiktig utvikling av modellverktøyet¹. Av de større punktene er en dynamisk sidemodell for byområder og agentbaserte etterspørselsmodeller. Arbeidet med testing av agentbaserte modeller er nå i gang for fem regioner i Sverige. For ytterligere informasjon henvises det til Trafikverket (2021).

I Sverige vil man på kort benytte 4 trinnsmodellen Sampers. Aktiviserterbaserte modeller vil kartlegges for mulig implementering på lang sikt. I byer vil man ha ulike modeller avhengige av analysebehovet byene har. For de fleste byer er dette i hovedsak ulike typer av VISUM.

Danmark

I Danmark består modellsystemet av en nasjonal modell (landstrafikkmodellen, LTM (Rich & Hansen, 2016)), en regional modell for Øresundsregionen (OTM) (Fox et al., 2013) og en modell for Københavnområdet (COMPAS). Både LTM og OTM er multimodale fire trinnsmodeller. Det som skiller den nasjonale modellen fra Sverige og Norge er at man også har implementert godsmodellering i modellen. Det er altså ulike reisemidler innenfor gods (vei, sjø og bane). Videre inneholder den nasjonale modellen alle reiselengder. Rutevalgsalgoritmen skiller seg også noe fra den norske modellen ved at det er en stokastisk rutevalgsalgoritme som ligger til grunn.

Compass modellen for Københavnområdet er en aktivitetsbasert (Overgård et al., 2020). Modellen har en stokastisk rutevalgsalgoritme (SUE). Forskjellig fra LTM og OTM er da at etterspørselsmodellen er aktivitetsbasert. I modellen er lastebiler modellert som faste matriser. Modellen er ikke ferdig utviklet, og det pågår nå testing av modellen.

Både LTM, OTM og Compass er bygget opp i programvaren Traffic Analyst. Et verktøy fra Esri (Esri, 2021).

Finland

I Finland benyttes enten tradisjonelle firetrinnsmodeller eller en agentbasert hybrid modell for analyser i og utenfor byer. Firetrinnsmodellen har hovedfokus på biltrafikk og er bygget opp i EMME, mens den agentbaserte modellen er en kombinasjon av etterspørselsmodellering i Brutus (Rambøll, 2022) og nettutlegging i Emme. For godstransport finnes det ikke noe offisielt

¹ Kontaktperson for dette arbeidet er Leonid Engelson (Leonid.engelson@trafikverket.se).

modellsystem. Det er i disse dager igangsatt et større arbeid med å lage en nasjonal modell for Finland². Dette arbeidet vil være ferdig i 2027.

Det som skiller Finland fra de andre landene, er at de var tidlig ute med agentbaserte modeller. Modellen brukes både til byanalyser, men også til å si noe om trafikketterspørselen i 2030, 2040 og 2050 på nasjonalt nivå.

Videre er det naturlig nok mange transportmodeller som er etablert i andre land. Når det gjelder firetrinnsmodeller er kanskje modellen for Irland den mest interessante. Den er på mange måter lik den norske og kan være en kilde til inspirasjon for videreutvikling av RTM/NTM systemet. Modeller er i CUBE og er basert på firetrinnsmetodikk (National transport authority, 2014, 2020).

Når det gjelder aktivitets- og agentbaserte modeller var USA, Nederland og Singapore tidlig ute. (Adnan & Muhammad, 2016; Lee et al., 2014; Rasouli et al., 2018; *SANDAG, regional models*, n.d.; W Axhausen et al., 2016). Den mest kjente modellen er kanskje MatsIM modellen til W Axhausen et al., (2016). Man har også i ITF-sammenheng laget modeller for «shared mobility (se *ITF Shared Mobility Simulations. ITF work on Shared Mobility*, 2022).

Når det gjelder godsmodeller finnes det utover de tradisjonelle firetrinnsmodellene også turkjedebaserte firetrinnsmodeller (Doustmohammadi et al., 2016; MAG: SHRP2, 2017). Videre er det også etablert enkelte aktivets- og agentbaserte godsmodeller (de Bok & Tavasszy, 2018; Sakai & Takanori, 2020; Samimi & Amir, 2014).

3. MULIGE MODELLVERKTØY TIL Å DEKKE ANALYSEBEHOVET

3.1 Ulike typer transportmodeller og hva kjennetegner dem

Det finnes en rekke ulike transportmodeller og modellvalget avhenger av omfanget til prosjektet som skal analyseres, tidshorizonten for prosjektet og detaljeringsnivået som stilles til resultatet og inndataen av analysen. De ulike modellene kan kategoriseres og karakteriseres på mange ulike måter. Fokus i dette arbeidet er i hovedsak knyttet til ulike måter å beregne transportetterspørselen og rutevalget på.

En kan dele etterspørselen opp i fire hovedtyper av tilnærminger;

- Firetrinnsmodeller
- Turkjedebaserte firetrinnsmodeller
- Aktivitetsbaserte modeller
- Agentbaserte modeller

Videre kan trafikkavviklingsmodellen som beregner rutevalget grovt skilles ved om den er deterministisk eller stokastisk. En stokastisk modell vil estimere rutevalget gjennom en sannsynlighetsfordeling, mens en deterministisk rutevalgsmodell vil gi en slags forventningsverdi og gi samme svar hver gang. Videre kan modelleringen av rutevalget være dynamisk. I slike sammenhenger vil man modellere hvert enkelt kjøretøy og beregne trafikkavviklingen detaljert i forhold til krysskoding og tidsoppløsning. Dynamiske modeller har ofte en stokastisk tilnærming til rutevalget. Mange simuleringsmodeller som AIMSUN og VISSIM har elementer av dynamiske

² Kontaktperson for dette arbeidet er Virpi Pastinen

modellering i seg ved at de modellerer trafikkavviklingen med høy tidsoppløsning («sekund for sekund»).

Firetrinnsmodeller (trip based four step models)

Firetrinnsmodellene er de eldste og mest aggregerte modellene. Detaljeringsnivå og kompleksiteten øker når man beveger seg mot aktivitet og agentbaserte modeller. I agentbaserte modeller modelleres hver enkelt person, og hvordan disse oppfører seg utgjør reiseetterspørselen. Rutevalget modelleres individuelt for hver enkelt bil og summen av disse utgjør den totale reiseetterspørselen. Firetrinnsmodeller på den annen side modeller alle reisene i større grad samlet.

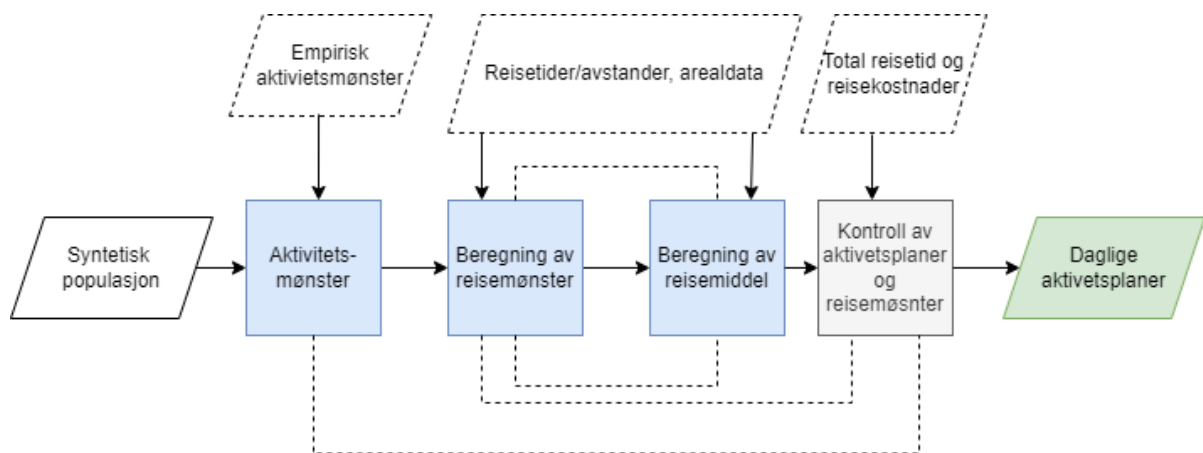
Fordelen med firetrinnsmodellene er at de ikke krever detaljerte inndata, og i mange sammenhenger heller ikke krever mye beregningskapasitet. Likevel har de noen utfordringer knyttet til aggregeringen over tidsperioder og geografiske områder. Den grove sonestrukturen gjør det utfordrende å modellere enkelte tiltak i bysammenheng. Videre gjør forhåndsdefinerte tidsperioder det vanskelig å beregne endring av avreisetidspunkt. I firetrinnsmodellene behandles også enkeltturer som uavhengige avgjørelser, mens de i realiteten ofte er sterk sammenheng mellom de ulike turene i en turkjede. En annen utfordring med fire-trinnsmodellene er at de ikke tar høyde for dynamikken internt i husholdningene. For eksempel vil reisemiddelvalget til en person i husholdningen avhenge om man har en bil tilgjengelig eller ikke.

Turkjedebaserte fire trinnsmodeller (tour-based four step models)

Turkjedebaserte transportmodeller tar på mange måter tak i utfordringen knyttet til at firetrinnsmodellene ikke modellerte turkjeder. I turkjedemodellene modelleres hele turen som utgangspunkt. En turkjede defineres her som en reise fra hjemmet til en eller flere ulike destinasjoner og så tilbake til hjemmet. Turkjedebasert modellering av etterspørselen er et steg i retning av aktivitetsbasert modellering hvor man i stedet for å ta utgangspunkt i selve turen, ser på de aktivitetene en skal innom i løpet av en dag.

Aktivitetsbaserte modeller består i hovedsak av befolkningens daglige aktiviteter, og det produseres så turer mellom disse aktivitetene. Disse turene utgjør reiseetterspørselen i aktivitetsbaserte modeller. Ved å modellere aktivitetene til ulike personer i husholdningene løser man også utfordringen knyttet til mangelen på den interne dynamikken i hver husholdning i firetrinnsmodellene og støtter seg i større grad på adferdsteori. En utfordring med de aktivitetsbaserte modellene er at de trenger mer detaljerte data. Dette gjelder da spesielt informasjon om reiseaktiviteter til ulike personer. Dette hentes gjerne fra reisevaneundersøkelser eller reisedagbøker (Rossi & Yoram, 1997).

Aktivitetsbaserte modeller beregner etterspørselen med utgangspunkt i hvert individs liste av aktiviteter (se Figur 1 for beregningsløpet i en aktivitetsbasert modell). Dette danner grunnlaget for estimering av avreisetidspunkt for hver enkelt reise mellom hver aktivitet. Disse reisene er så aggregert sammen i OD-matriser som blir brukt til å legge reisene ut på vegnettet. Dette gjøres enten gjennom statisk eller dynamisk nettutlegging, og man kan da beregne trafikkvolum og reisetider. Disse reisetidene kan så tilbakeføres til etterspørselsmodellen, og gi en reestimering av de ulike aktivitetene hver enkelt gjennomfører basert på trengselen i vegnettet.



Figur 1: Flytskjema for beregningsmetodikk i aktivitetsbaserte modeller (Krajzewicz et al., 2019)

Ved å gå bort fra aggregeringen til OD-matriser i den aktivitetsbaserte modellen vil man gå over til en fullstendig agentbasert modell. I agentbaserte modeller modelleres hver enkelt person separat. Det finnes også muligheter for å lage agentbaserte modeller, som ikke er aktivitetsbaserte ved å skalere opp reisemønsteret fra reisevaneundersøkelser. Et eksempel på dette er Viegas & Martinez (2010).

I Tabell 2 er de ulike modellene ytterligere beskrevet sammen med hvordan de svarer ut ulike trafikale virkninger som reisestrømmer, antall reiser, reisemiddel og rutevalg.

Tabell 2: Ulike typer transportmodeller og hvordan de svarer på ulike trafikale spørsmål (delvis basert på (National Academies of Sciences, 2014))

	Turbaserte firetrinnsmodeller	Turkjedebaserte firetrinnsmodeller	Aktivitetsbaserte modeller	Agentbaserte modeller
Kjennetegn	Aggregerte modeller hvor hver tur modelleres	Aggregerte modeller hvor turkjeder modelleres	Disaggregerte modeller. Turene kombineres basert på daglige aktivitetsplaner	Disaggregerte modeller. Hvert individ modelleres / hvert kjøretøy kan modelleres som en egen agent
Hva kan modellene svare på?				
<i>Hvem gjennomfører turen?</i>	Kan analyseres på aggregert nivå (soner) basert på data fra reisevaneundersøkelser. Kun turen og ikke personen som reiser.	Kan analyseres på aggregert nivå (soner) basert på data fra reisevaneundersøkelser. Kun turen og ikke personen som reiser.	Ulike profiler til brukere på disaggregert nivå. Basert på syntetisk populasjon og deres daglige aktivitetsplaner. Data hentet fra reisevaneundersøkelser og SSB data	Ulike profiler til brukere på disaggregert nivå. Basert på syntetisk populasjon og deres daglige aktivitetsplaner. Data hentet fra reisevaneundersøkelser og SSB data
<i>Hvilken reiseaktivitet har man?</i>	Basert på turproduksjonsberegninger (til/fra hjem, annet – annet)	Tur og turkjede-produksjon for ulike aktiverer for ulike brukergrupper (for eksempel skilt på bilhold).	Aktiviteter og planlegging av disse på individnivå.	Aktiviteter og planlegging av disse på individnivå. Også mulig med enklere modellering (for eksempel turproduksjon på individnivå)
<i>Hvor reiser man?</i>	Reisemønster på sonenivå. Vanligvis beregnet gjennom gravitasjonsmodeller	Reisemønster på sonenivå. Vanligvis beregnet gjennom gravitasjons-modeller	Tur og destinasjonsmodell hvor man har sammenheng mellom aktiviteter. Hver deltur i turkjeden defineres.	Tur og destinasjonsmodell eller ekstrapolering fra reisevaneundersøkelser. På individ nivå. Hver deltur i turkjeden defineres.
<i>Når foretar man reisen?</i>	Reisetidspunkt er ofte ikke definert. Modellene er ofte på rustidsnivå. ³	Reisetidspunkt er ofte ikke definert. Modellene er ofte på rustidsnivå.	Valg av tur og reisetidspunkt for hver person.	Valg av tur og reisetidspunkt for hver person.
<i>Hvilket reisemiddel brukte man?</i>	Turbasert reisemiddelvalg	Tur og turkjedemodell for reisemiddelvalg	Tur og turkjedemodell for reisemiddelvalg	Tur og turkjedemodell for reisemiddelvalg
<i>Hvordan modelleres rutevalget?</i>	Reisemiddelspesifikke OD matriser er lagt inn i nettverket iterativt for hver tidsperiode	Reisemiddelspesifikke OD matriser er lagt inn i nettverket iterativt for hver tidsperiode	Reisemiddel og tidsspesifikke OD matriser	En reiseplan for hver enkelt person nettutlegges og oppdateres til likevekt oppnås

³ Dette gjelder ikke firetrinnsmodellen vi har i Norge (RTM) som må ansees som en detaljert og avansert firetrinnsmodell i forhold til mange firetrinnsmodeller i andre land.

De tur- og turkjedebaserte firetrinnsmodellene benyttes ofte i og utenfor byer, mens aktivitet og agentbaserte modeller brukes i byområder. Videre modelleres godstransport ofte i tilsvarende rammeverk som firetrinnsmodeller.

Ser man på resultatene som er mulig å ta ut fra de ulike modellene så synes de aktivitets og agentbaserte modellene å ha muligheter for detaljerte analyser så vel som aggregerte analyser, mens det for firetrinnsmodellene i hovedsak er mulig å gjøre gjennomsnittsanalyser på et mer aggregert nivå. Som det fremkommer i Tabell 3, er det også et skille ved at de aktivitets- og agentbaserte modellene kan beregne dynamikken internt i de ulike husholdningene.

Det er verdt å merke seg at selv om nivået på resultatene er mest detaljerte i de aktivitets- og agentbaserte modellene så gjør den stokastiske beregningen av etterspørsel og i enkelte tilfeller rutevalg at det vil være forskjeller mellom hver beregning. Dette fordi hver agent vil gjøre noe forskjellig valg i hver beregning.

Tabell 3: Typiske beregningsresultater i ulike modeller

Beregningsresultater	Turbaserte fire-trinnsmodeller	Turkjedebaserte firetrinnsmodeller	Aktivitetsbaserte modeller	Agentbaserte modeller
Trafikk på veglenker	V	V	V	v
Personkilometer	V	V	V	v
Kjøretøykilometer	V	V	V	v
Reisekarakteristikker	Per OD-par og reisemiddel	Per OD-par, reisemiddel, ulike bilhold i husholdningen	Gjennomsnittlig og totale reisekarakteristikk for hvert OD-par	Individ, gjennomsnittlig og totale reisekarakteristikk for hvert OD-par. Kan lokalisere hvert individ i ulike tidspunkt av dagen
Modellering av dynamikken i husholdninger (f.eks deler på en bil)	Ikke mulig	Ikke mulig	Kan modellere husholdninger	Kan modellere husholdninger

I Norge benytter vi de regionale og nasjonale persontransportmodellene til strategiske analyser. RTM kan kategoriseres som en strategisk firetrinns transportmodell med en statisk etterspørselsmodell med deterministisk rutevalg. Modellen må sees på som en avansert og detaljert firetrinnsmodell med mange tidsperioder, flere reisemidler og kapasitetsavhengig etterspørselsberegning og rutevalg. NTM er noe enklere bygget opp. Den er en turbasert firetrinnsmodell med kapasitetsuavhengig beregning av etterspørsel og rutevalg.

Etterspørselsmodellen i RTM (eks. TraMod_By brukt i RTM) beregner turetterspørsel gjennom turproduksjon i segmenter av befolkningen etter generalisert reisekostnad og med destinasjonsvalg etter soneattraksjon via gravitasjonsmodeller. Selv om det beregnes turkjeder i TraMod_By er det lite sammenheng mellom hvor de ulike delene av reisene av turkjedene går. I

siste versjon av TraMod_By har det blitt lagt inn noe økt funksjonalitet rundt begrensning av antall kommuner legturene havner i, men det foreligger ikke noe sammenheng mellom lokalisering av leg1 turen i forhold leg2 turen utover dette. RTM er til eksempel en deterministisk modell som beregner rutevalget utfra generalisert kostnad for ulike reisehensikter, men reberegninger beste rutevalget over flere iterasjoner.

3.2 Fordeler og ulemper med de ulike modelltilnærmingene

Fordelen med strategiske og makroskopiske modeller etter firetrinnsmetodikken er at de både i Norge og internasjonalt er svært veletablert. De er designet og godt egnet for beregninger over store områder og som grunnlag for nytte-kostanalyser. Modellene dekker også «alle» reiser over et større område som er nødvendig ved beregning av store tiltak med langvarige og regionale virkninger. Metodikken har noen metodiske utfordringer knyttet til manglene beregning av turkjeder, husholdningsdynamikk, og reiser på et disaggregert nivå som gjør at de kan være utfordrende å bruke i enkelte byprosjekter. Videre er det lite fleksibilitet i modellsystemet knyttet til endring av avreisetidspunkt. Resultatene må til gjengjeld fremstilles på et aggregert nivå og er mindre fleksible til modellering av trendskifter etc. slik aktivitetsbaserte modeller kan. Rutevalgsberegningene er også i større grad forenklet, og ofte deterministiske. Det finnes i dag diverse tilbydere av kommersielle program for bygging av strategiske modeller slik som EMME, VISUM og CUBE.

Fordelene med dynamiske og mikroskopiske modeller er muligheten for detaljert beregning av blant annet avreisetidspunkt, rutevalg og med representasjon av etterspørsel og tilbud på et mye mer detaljert nivå. Sistnevnte muliggjør for en mye mer detaljert modellering av enkeltindivider/agenter og aktivitetsplaner uavhengig av tidspunkt/tidsinndeling av modellen. Det er sånn sett også i større grad lettere å modellere trendskifter eksempelvis MAS. Økende fleksibilitet i arbeidshverdagen kan også være argumenter for mer flytende reisetidspunkter hvor dynamiske og agent/aktivitetsbaserte modeller er egnet. Til gjengjeld er behovet for detaljerte inndata større, og det er i dag få kommersielle aktører som tilbyr modne produkter for utvikling av slike modeller. Mange av produktene er «open source» produkter som kan ha noe vanskelig brukergrensesnitt, og i så måte krever en god del av de som skal bruke de agentbaserte modellene (Krajzewicz et al., 2019). Videre er det en del reiser som ikke modelleres i agentbaserte modeller. Dette kan være gjennomgangstrafikk (trafikk som ikke generes av agentene i modellen) og godstransport for eksempel. Disse tingene må hentes fra andre modeller hvor dette beregnes. Det er heller ingen klar kobling mot nyttekostnadsanalyser fra slike modeller (Flügel, 2021). Det er helt essensielt hvis slike modeller skal benyttes utenfor byområder.

Generelt kan man si at agentbaserte modeller egner seg best, og brukes mest til detaljerte analyser for mindre geografiske områder (f.eks byer), mens firetrinnsmodellen er mer egnet til å gjøre regionale og nasjonale analyser. Videre kan den stokastiske tilnærmingen i agentbaserte modeller være utfordrende når man ønsker å skille alternativer opp imot hverandre. Dette fordi man må kjøre flere beregninger av samme alternativ for å oppnå «gjennomsnittsverdier». Dette gjelder både i og utenfor byområder. Ønsker man derimot å se på effekten av et tiltak, og variasjonen i det eller se på nye trender vil stokastiske og dynamiske modeller kunne gi økt innsikt om variasjonsområdet og noe av usikkerheten som ligger i resultatene. Selv om deterministiske og statiske modeller kan virke hensiktsmessig for å beregne forskjeller mellom alternativer, er det viktig å være klar over at usikkerheten til resultatene ikke fanges opp.

Noe brukere av transportmodeller må ta inn over seg at det etterspørres i stadig større grad synliggjøring av usikkerheten i analysene (Hoque et al., 2021; Odeck & Kjerkreit, 2019;

Willumsen, 2017). Det er viktig for å bygge tillit til modellsystemet. Stokastiske transportmodeller vil med dette i mente være bedre egnet enn deterministiske, da de av natur erkjenner noe av usikkerhet ved at modellresultatene vil variere for hver beregning som kjøres. Det er verdt å merke seg at stokastiske modeller tar høyde for noe av usikkerheten knyttet til parametere i modellen, men ikke usikkerheten som ligger i selve inndataene til beregningene. Ved deterministiske modeller vil resultatene ikke variere, og gir i beste fall en forventningsverdi for scenarioet som analyseres. For å implementere usikkerhet i modellresultater fra deterministiske modeller kan en mulighet være å tildele modellresultatene (forventningsverdien) en egen sannsynlighetsfordeling som estimeres eksogent og videre benyttes i en ekstern usikkerhetsmodell eller man kan se på ulike fremtidsbilder gjennom scenarioteknikk.

Det foreligger også forskning som ser på mulighetene for å kombinere firetrinnsmodeller og agentbaserte (se Holmgren (2014) og Miller, Eric et al. (2005), og en kan kanskje se for seg å kombinere for eksempel RTM med agentbaserte modeller på ulike måter i by.

3.3 Databehov, utviklingskostnader og eksisterende verktøy

Databehovet er forskjellig for firetrinnsmodellene og de aktivitets- og agentbaserte modellene. De aktivitetsbaserte modellene trenger mer detaljerte data om reisetidspunkt og reisekjeder enn firetrinnsmodellene. For de aktivitet og agentbaserte modeller er ofte detaljeringsgraden ned på 500 x 500 m grid for byområder og 1000 x 1000 m for områder utenfor by. Behovet for mer detaljerte data stiller også større krav til reisevaneundersøkelsen som legges til grunn. Dette gjelder både i forhold til antall respondenter, men også utformingen av denne slik at man i større grad får frem sammenhengen i turkjeder og avreisetidspunkt. Databehovet for de ulike modelltypene er ytterligere beskrevet i Tabell 4.

Tabell 4: Databehov, usikkerhet og ulike programvarepakker

	Turbaserte fire-trinnsmodeller	Turkjedebaserte firetrinnsmodeller	Aktivitetsbaserte modeller	Agentbaserte modeller
<i>Sosioøkonomiske data</i>	Aggregerte sosioøkonomiske data på sonenivå	Aggregerte sosioøkonomiske data på sonenivå	Detaljerte tellinger og reisevaneundersøkelser/dagbøker (inkluderer reisetidspunkt, reisemiddel og turkjeder)	Detaljerte tellinger og reisevaneundersøkelser/dagbøker (inkluderer reisetidspunkt, reisemiddel og turkjeder)
<i>Arealbruksdata</i>	Aggregerte arealbruksdata på sonenivå	Aggregerte arealbruksdata på sonenivå	Aggregerte arealbruksdata på sone/gridnivå, høyt detaljeringsnivå	Aggregerte arealbruksdata på sone/gridnivå, høyt detaljeringsnivå
<i>Vegnett</i>	Lenke og nodebasert vegnett	Lenke og nodebasert vegnett	Lenke og nodebasert vegnett	Lenke og nodebasert vegnett
<i>Geografisk oppløsning</i>	På sonenivå (typisk kommune eller noe mer detaljert)	På sonenivå (typisk kommune eller noe mer detaljert)	Små soner som kan være gridbasert	Små soner som kan være gridbasert
<i>Tidsoppløsning</i>	Ofte kun rushperioder	Ofte kun rushperioder	Hele dagen modelleres	Hele dagen modelleres
<i>Utviklingskostnader</i>	Lav	Medium	Høy	Høy
<i>Behov for datakraft</i>	Lav	Medium	Høy	Høy
<i>Kilder til usikkerhet</i>	Inngangsdata og usikkerhet knytet parametere og modellspesifikasjon	Inngangsdata og usikkerhet knytet parametere og modellspesifikasjon	Inngangsdata, usikkerhet knytet parametere og modellspesifikasjon, simuleringseil og stokastisk variasjon i resultater	Inngangsdata, usikkerhet knytet parametere og modellspesifikasjon, simuleringseil og stokastisk variasjon i resultater
<i>Aktuelle programvarepakker</i>	VISUM, Emme, CUBE, TransCAD	VISUM, Emme	VISUM, DaySim, TRANSIMS	Emme, MATSIM og på sikt CUBE

Vegnettet brukt i firetrinnsmodeller kan gjøres veldig enkelt kun ved hjelp av et node- og lenketema, og et grovt kollektivtransportsystem. Aktivitets- og agentbaserte modeller kan bruke tilsvarende vegnett og kollektivsystem, men ofte detaljeres de ytterligere med krysstyper, svingebevegelser og detaljerte beskrivelser for kollektivsystemet (stoppmønster, rutetabeller osv).

3.4 Nye datakilder og nye muligheter

I den senere tiden er det gjort tilgjengelig nye datakilder som vil kunne være aktuelle å bruke til å validere og kalibrere transportmodeller. Disse kan være basert på WIFI-signaler, bluetooth, ulike former for smartkort, mobilapper, GPS data fra biler eller mobildata fra mobiloperatørene. De ulike datakildene har fordeler og ulemper, og ikke alle datakildene kan for eksempel finne nøyaktig start og slutt punkt på reisen. For eksempel vil GPS data fra biler kun registrere reisen med bilen, mens smartkort fra kollektivselskapet kun registrer selve kollektivreisen. En av de få datakildene som registrer dør til dør bevegelser er mobildata. Mobildata kan skilles mellom data fra mobiloperatørene som registres mens mobilen er på, og data fra Global Navigation Satellite System (GNSS). GNSS er installert i mobilen via en microchip og er ofte en GPS (ITF, 2021). Felles for de nye datakildene er at de inneholder betydelig større datamengder enn hva som har vært tilgjengelig gjennom konvensjonelle datainnsamlingsmetoder som for eksempel reisevaneundersøkelser. Litt forenklet kan vi skille konvensjonelle og nye data kilder på følgende måte:

Tabell 5: Egenskaper ved konvensjonelle datainnsamlingsmetoder i forhold til GPS data

	Tradisjonelle datainnsamlingsmetoder	Ulike former GPS data
Nøyaktighet på reisetidspunkt og lengde	Lav	Høy
Rutevalg	Ikke tilgjengelig	Tilgjengelig
Trafikkvolum	Lav	Gir kun deler av totalt trafikkvolum
Innsamlingskostnad	I de fleste sammenhenger høy	Lav
Informasjon om reisemiddelvalg	Tilgjengelig	Ofte ikke tilgjengelig
Informasjon om reisehensikt	Tilgjengelig	Ofte ikke tilgjengelig
Data behandling/filtrering	Veletablerte metoder	Metoder er under utvikling

I og med at flere av de nye datakildene er på individnivå, og i langt større volum, er de på mange måter godt egnet for agentbasert modellering. Datakildene vil også kunne ha verdi i forhold til estimering av friflythastigheter (GPS data fra biler), volum/hastighetskurver og validering av rutevalg og reisemønster (Goves & Hemmings, 2016; International Transport Forum, 2021). Videre er de nyttige til å analyse reisestrømmer og før og etter undersøkelser av transporttiltak.

Gitt de store volumene av data og at dataene reflekterer valg respondenter gjør, anbefales det å se på muligheter for bruk av kunstig intelligens i å detektere og predikere reisemiddelvalg og destinasjonsvalg. Dette anbefales også i ITF (2021) sin rapport «Big data for Travel demand modelling». Gitt Statens vegvesens arbeid i SAGA gruppen og med bruk av mobildata kan dette være interessant steg for å øke kunnskapen rundt bruk av nye datakilder. Vi har i forbindelse med

dette arbeidet vært i kontakt med spesialistmiljøet i Sentient. De ser muligheter for å bygge Bayesianske nettverk som summerer opp sannsynligheten for et valg gitt en rekke variabler.

Det er likevel verdt å merke seg at selv om de nye datakildene har mange styrker gir de ikke informasjon om de sosioøkonomiske egenskapene til de reisende. Dette gjør de tradisjonelle reisevaneundersøkelser. Dette er data som er essensielt i kalibrering og etablering av transportmodeller. Dette gjør at man nok ikke kan gå bort i fra mange av de tradisjonelle datakildene, men det kan være hensiktsmessig å finne måter å kombinere de i større grad enn tidligere.

3.5 Usikkerhet

En kartlegging av usikkerheten til ulike transportstrategier vil kunne hjelpe beslutningstagere å forstå denne i estimatene samt sikre at de riktige tiltakene blir valgt. Usikkerhet kan defineres som forskjellen fra «perfekt» kunnskap, og i og med at transportmodeller er forenklinger av virkeligheten vil alle beregninger ha usikkerhet i seg. En kan skille usikkerhet knyttet til inngangsdata og usikkerhet knyttet til selve parameterne i modellen. I firetrinnsmodeller vil disse to elementene være hovedkildene til usikkerheten, mens man i agentbaserte modell også vil kunne ha usikkerhet knyttet til simuleringer av beregningene samt utvalgsusikkerhet knyttet til hvordan den syntetiske befolkningen estimeres.

For å kunne beregne usikkerhet kan en skille mellom kvantitative og kvalitative tilnærminger. Den vanligste kvantitative tilnærmingen er bruk av sannsynlighetsmodeller (De Jong et al., 2007) . Dette kan enten være Monte Carlo-simulering eller bootstrapping-beregninger. I Monte Carlo-simulering antar man en fordeling av resultatene, og beregner variasjon i resultater som følge av ulike verdier av denne, mens man i bootstrapping litt enkelt forklart endrer utvalgsstørrelsen og ser hvordan det påvirker resultatene. En kvalitativ tilnærming til usikkerhet er bruk av scenarioanalyser. I scenarioanalyser så prøver man å bygge opp mulige fremtidsbilder og kartlegge hvordan dette påvirker resultatene. En typisk tilnærming er å endre på en type inndata og holde de andre dataene like.

I nyere tid har det kommet andre tilnærminger knyttet til kartlegging av usikkerhet i transportanalyser gjennom referansealternativ prognoser (oversatt fra «reference class forecasting») (Flyvbjerg 2006). Mye av dette arbeidet tar utgangspunkt i å sammenligne resultater fra tilsvarende prosjekter som det man analyser og bruke dette som utgangspunkt for Monte Carlo simuleringer og scenarioberegninger.

3.6 Hvilke egenskaper bør modellene ha i og utenfor by

For områder utenfor by er samfunnsøkonomiske analyser essensielt, mens det syntes å være mindre viktig i by hvor beregninger knyttet til måloppnåelse for nullvekstmålet er viktigst. På mange måter kan man si at forskjellene i målene som definerer om prosjektet er et byprosjekt eller landeveisprosjekt også. Forskjellene gir føringer for hvilke egenskaper de ulike modellene bør ha og hvilke problemstillinger de bør kunne svare ut.

Hvilke egenskaper bør transportmodellene utenfor by ha?

Den nasjonale og regionale transportmodellen i Norge i dag synes på mange måter å dekke analysebehovet utenfor by. For områder med mindre kapasitetsproblemer og konkurranseflater mellom reisemidler vil firetrinnsmetodikken som ligger til grunn være et godt egnet verktøy til å hjelpe til med prioritering mellom alternativer også i fremtiden. Et alternativ til firetrinnsmetodikken er aktivitetsbaserte modeller. Per nå er dette lite utprøvd i Norge, og det er

nok mer aktuelt å begynne å se på slik modeller i byområder først. Når man har opparbeidet seg kunnskap om hvordan aktivtetsbaserte modeller fungerer i en norsk kontekst kan man vurdere mulighetene for å også benytte dette utenfor byområder. Per nå anbefaler vi å vente med dette til man har en slik kunnskap. Erfaringer fra Finland tyder på at kostnadene ved å skalere opp bymodeller til regionale modeller ikke er betydelig, og kan ligge på rundt 30 % av utviklingskostnadene til bymodellen. Likevel vil det å få frem mer detaljert beregning turkjeder, avreisetidspunkt og valgene hvert enkelt individ gjør synes viktigere i byer hvor kompleksiteten og konkurranseflatene er større og hvor man har et vegnett som har kapasitetsbegrensninger.

I forhold til rutevalgsalgoritmer benytter RTM i dag incremental loading. Tilnærmingen er i stor grad deterministisk, og man vil få samme beregningsresultat hver gang man kjører beregningen. Det finnes nettutleggingsalgoritmer som er stokastiske. Dette har blant annet blitt benyttet for strategiske modeller i Danmark (Rich & Hansen, 2016). Fordelen er at man i større grad tar innover seg usikkerheten som ligger i rutevalget. Ulempen er økt beregningstid og ulike resultater mellom hver beregning slik at man kan risikere å måtte kjøre flere beregninger av hvert tiltak for å kunne sammenligne tiltak mot hverandre. Hovedfokus i beregninger utenfor byområder er ofte trafikanntytte. Trafikanntytteforskjellene av at bilister velger ruter som er marginalt forskjellig synes på å mange måter liten. Videre kan en stokastisk tilnærming gi trafikale endringer langt unna der hvor tiltak er noe som kan være vanskelig å forklare til beslutningstagere. Det synes i så måte som viktigere å se på muligheter for å redusere beregningstiden, og samtidig få øke omlandet til modellene slik at man sikrer at samtlige trafikale endringer blir inkludert i en og samme modell (korte, lange personer reiser og gods). Videre bør man se på måter å få økt innsikt i usikkerheten til beregningsresultatene gjennom bruk av scenarioberegningsmetodikk eller Monte Carlo simulering.

Hvilke egenskaper bør transportmodellene i by ha?

I dag benyttes RTM som verktøy for strategiske analyser i byområder i Norge. Selv om modellen er detaljert til å være en firetrinnsmodell i form av mange tidsperioder, multimodal og har kapasitetsavhengig beregning av både etterspørsel og rutevalg for biltrafikken vil den på grunn av sin oppbygning ikke kunne fange opp alle endringer som man kanskje skulle ønske i byanalyser. I etterspørselssammenheng gjelder dette kanskje spesielt faktorer knyttet avreisetidspunkt, turkjeder, husholdningsintern dynamikk og reisemiddelvalg som gjøres på korte reiser hvor grunnkretsstrukturen i RTM blir for grov. Videre er beregningen av kollektivtransport på enkelte områder forenklet. Dette gjelder kanskje spesielt i forhold til beregning av trengsel og korrespondanse mellom kollektivmidler. Dette beregnes i dag i liten grad i modellverktøyene.

Rutevalget som gjøres i RTM i dag er deterministisk også i byområder. Forsinkelse er beregnet gjennom VDF kurver på lenkenivå (O A Hjelkrem et al., 2017). I byområder er ofte kryssene dimensjonerende for fremkommeligheten. Ved bruk av kun lenkekapasitet står man i fare for å overestimere fremkommeligheten på vegnettet fordi disse kurvene ikke tar innover seg kapasitetsbegrensningene som kommer fra kryssene. En kan derfor argumentere for at man også i strategiske analyser bør ha en mer dynamisk nettutlegging hvor hvert kjøretøy modelleres enkeltvis. Flere agentbaserte modeller har også dynamisk nettutlegging, mens man i aktivtetsbaserte modeller også benytter seg av et mer deterministisk nettutleggingen. Fordelen med å ha agentbaserte modeller med dynamisk nettutlegging er at man følger samme personen fra beregning av etterspørsel til den setter seg i bilen og kjører. Det vil i så måte kunne være lettere å beregne endringer i etterspørsel som følge av kapasitetsproblemer på vegnettet, og sikre konsistens mellom etterspørselsberegningen og rutevalgsberegningen.

Det er verdt å merke seg at ved å introdusere agentbasert beregning av etterspørsel og stokastisk beregning av rutevalget blir både etterspørsels- og rutevalgsberegningen stokastiske. Dette vil kunne gi økt beregningstid, samt behov for flere beregninger av samme alternativ for å finne effekten av hvert tiltak. Videre kan det gi utfordringer i forhold til å få modeller som konvergerer. I vegnett som nærmer seg kapasitetstegrensen vil mindre endringer i etterspørsel for bil kunne gi ganske store forskjeller i rutevalg og købelastning på vegnettet. Derfor kan det synes som en fordel å ha en deterministisk nettutlegging av trafikken for prognoseår langt frem i tid (+20 år).

Ideelt sett i byområder bør man beregne kapasiteten basert på krysskapasitet og simulering av hvert enkelt kjøretøy gjennom bruk av dynamiske modeller hvor rushperiodene simuleres detaljert i forhold til tid. Usikkerheten knyttet til selve transportetterspørselen øker etter hvert som man går lenger frem i tid. I så måte kan man også argumentere for at det å beregne rutevalget på en detaljert måte synes uhensiktsmessig da selve usikkerheten til trafikketterspørselen er så stor at man bør være forsiktig med å gjøre detaljerte vurderinger av det. Dette ihvertfall hvis man har en stokastisk beregning av etterspørselen.

En kan gjøre «stresstester» ved å øke etterspørselen vesentlig i casesammenheng for å se hvordan dette slår på nettutleggingen av trafikken med både dynamisk/stokastisk nettutlegging. I andre land Finland har man laget en aktivitetsbasert beregning av etterspørselen som legges ut i et annet verktøy (EMME) for beregning av rutevalg og forsinkelse.

4. EN MULIG VEI FRAMOVER

Framtiden starter allerede i morgen, og usikkerheten til hva den vil bringe vil øke etter hvor langt inn i fremtiden man drar. Det synes derfor som hensiktsmessig å i størst mulig grad fokusere på de behovene man har nå, og øke kunnskapen om de faktorene som ligger lenger frem i tid. Vi har i dette kapitlet foreslått en rekke konkrete tiltak for videreutvikling av modellverktøyene i og utenfor by. Tiltakene vil være i form av piloter eller mer rene aktiviteter. Pilotene synes viktig for å øke kunnskapsnivået innenfor sentrale elementer som det er behov for på kort sikt. Pilotene vil kartlegge potensialet for å implementere ulike forbedringer og utvidelser i modellverktøyet. Etter hver pilot må man gjøre en vurdering av om dette kan skaleres videre eller om det er behov videre forskning/empiri før implementering.

I de neste delkapitlene er de ulike pilotene som foreslås beskrevet. Under hver pilot er det skissert hvorfor denne piloten er viktig, hvilke prosjekter det kan være aktuelt å gjennomføre og forventet resultat av arbeidet, samt et tidsestimat der det er mulig.

4.1 Forslag til transportmodellforbedringstiltak utenfor by

Pilot 1: Implementere usikkerhet i transportanalysene

Hvorfor:

Transportmodellene og nyttekostnadsanalysene slik de foreligger i dag beregner kun *et punkt på himmelen*. Tydeligere beskrivelse og kartlegging av usikkerheten ved resultatene er i dag ofte manglende, men likevel etterspurt av beslutningstakerne. Som beskrevet tidligere anbefales det med bakgrunn i behovet for analysene som skal gjøres utenfor by å fortsatt bruke og videreutvikle RTM/NTM i kombinasjon med et deterministisk rutevalg. Dette innebærer at usikkerhet ikke naturlig vil bli integrert i modellverktøyet, og det må eventuelt utvikles egne

metoder og verktøy for å få til dette. Under nevnes forslag til pilotprosjekter som kan gjennomføres med formål å skape et fundament for videre implementering i standard verktøy.

Type prosjekter:

- Eksogen Monte Carlo simulering av utdata fra transportmodellen eller nyttekostverktøyet (kort sikt): En enkel usikkerhetsanalyse av resultatene fra modellen og nyttekostverktøyet basert på tidligere empiri om usikkerhet i de viktigste modellresultatene.
- Kartlegging av usikkerhet ved inndata sin påvirkning på modellresultatene. En slik studie vil kunne kartlegge elastisiteten mellom usikkerhet i enkelte inndata og dets videre påvirkning på usikkerhet på modellresultatene. Dette kan være prosjektavhengig og kan derfor muligens identifisere om det er typer prosjekter som har større usikkerhet enn andre av natur. (kort sikt)
- Etablere rammeverk for definering av realistiske «ekstrem scenario» som kan påvirke analyseresultatene og hvordan slike scenario skal beregnes. Dette kan for eksempel være knyttet til teknologisk utvikling, pandemi eller økonomisk vekst (kort sikt). Scenarioarbeidet vil kunne gi indikasjoner på i hvilken grad beregningsresultatene vil kunne påvirkes og gi input til Monte Carlo simuleringer i etterkant.
- Etablere usikkerhetsmodul i RTM/EFFEKT med resultatene av prosjektene over som fundament.

Forventet resultat:

Ved gjennomføring av pilotprosjektene nevnt over vil man få dypere innsikt i hva som gir usikkerhet i modellresultatene og størrelseorden på denne. Arbeidet vil kunne brukt til å si noe om usikkerhet knytte til beregningsresultater i for eksempel porteføljeprioritering.

Tidsestimat: Kort sikt: 750-1200 timer, Lang sikt: 750-1200 timer

Pilot 2: Få samlet etterspørselsendringer av korte og lange reiser i en modell

Hvorfor:

Prosjektene øker i geografisk utstrekning, og det er et behov for å ha et verktøy som i større grad enn tidligere fanger opp endringer i korte og lange personreiser. I dag beregnes dette i to separate verktøy med ulik detaljeringsgrad og oppbygning av trafikanntnytteberegningen. Det kan også vært uklart når man bør beregne tiltak kun i RTM, og når man bør beregne i både RTM og NTM. Dette kan gi feil beregning av prosjektene og i ytterste fall uriktig prioritering av prosjektene i porteføljen.

Det er derfor behov for å kartlegge mulighetene for å integrere NTM i større grad i RTM enn tidligere. Dette gjelder både på etterspørsel og rutevalgsiden. En kan se for seg at man i RTM får en opsjon om å kjøre NTM. Videre bør man se på mulighetene for å ha en felles Tnextbase for hele Norge som grunnlag.

Type prosjekter:

Kartlegge mulighetene for å integrere NTM i RTM. Dette gjelder både på etterspørsel og rutevalgsiden (kort sikt)

Kartlegge mulighetene for å integrere NTM/RTM med NGM (lang sikt)

Forventet resultat:

Vil forhåpentligvis sikre at man i større grad får med seg alle trafikale virkningene av tiltakene inn i beregning av trafikanthytte og sikrer at man får beregnet prosjektene på en lik måte i en portefølje.

Timeestimat på kort sikt: 500 – 1000 t

Lang sikt: 500 – 750 t

Pilot 3: Redusere beregningstiden og se på mulighet for automatisering av arbeidsprosesser

Hvorfor:

Transportmodellene brukes i større grad enn tidligere i tidligfase i prosjekter for å kartlegge hvordan ulike løsninger påvirker trafikanthytten. Dette fordi samfunnsøkonomi i større grad har blitt en premissgiver. I dag er modelloppsettet for omstendelig til å følge slike prosesser hvor det ofte skal beregnes flere linjer, og mange ulike kombinasjoner av kryss i løpet av få uker. Ofte gjør dette at man kun velger et fåtall linjer basert på ekspertvurderinger. Dette kan gi feil i hvilke linjer og kombinasjoner man velger, og kunne i ytterste konsekvens gjøre at mindre samfunnsøkonomisk lønnsomme prosjektene velges.

Dette gjør at det er behov for å se på muligheter for å redusere beregningstiden og automatisere arbeidsprosesser i modellverktøyet for tilpasse seg denne fasen. I RTM brukes det for eksempel mye beregningstid på beregning av LOS og rutevalg for kollektiv samt trafikanthyttemodulen. Videre tar de ulike delstegene i prosessen med koding i Tnext, eksport av vegnett, kjøring av RTM og TNM betydelig med tid.

Type prosjekter:

- Kartlegge mulighetene for å forenkle beregningsløpet for analyser utenfor by
- Se på muligheter for å automatisere beregningsprosesser for tidligfase/optimaliseringsfase i prosjekter

Forventet resultat:

Redusere beregningstiden til modellen og i større grad bidra til at man velger de mest samfunnsøkonomiske lønnsomme løsningene i prosjektene.

Timeestimat på kort sikt: 500 – 750 t

Pilot 4: Oppdatering av fartsmodellen

Hvorfor:

Fartsmodellen som benyttes i transportmodellen i dag er basert på GPS data fra 2017 og 2020. Det er et beskjedent antall målinger med 100 og 110 km/t. Dette er to hastigheter som er essensielle for nye vegprosjekter utenfor by og det å øke det empiriske grunnlaget her synes som viktig. Videre har det kommet stadig flere nye GPS datakilder som kan brukes til validering og eventuelt kalibrering av modellene som brukes til å estimere friflythastigheter. Det bør også sees på om disse datakildene kan brukes til å estimere VDF kurver ved å koble hastigheten i GPS dataene opp mot tellepunkt. I arbeidet bør man også spørre seg om man kan bruke GPS registrerte data direkte i større grad enn tidligere til å angi friflytfart.

Forklaringsvariablene som inngår i beregningen av friflyt hastigheter er i stor grad koblet mot vegens geometri (stigning, fall, krumning osv). Med nye GPS datakilder vil en kunne få

tilstrekkelig med observasjoner til å kunne se på variabler som var knyttet til by, og kunne gi friflytestimater også på flere av disse veien.

Type prosjekter:

- Vurdere å bruke nye GPS data til validering og kalibrering av friflyt hastigheter
- Vurdere å bruke nye GPS data til validering og kalibrering av VDF kurver utenfor by
- Kartlegge muligheten for å lage egne VDF kurver som er tilpasset byområder

Forventet resultat:

Få validert hastighetsberegningene i transportmodellen og dermed også et sikrere estimat på trafikanntnytt.

Timeestimat er 500 – 1500 t

Pilot 5: LUTI modeller

Hvorfor: Arealendringer som følge av store samferdselsinvesteringer i Norge ivaretas i dag aldri/sjeldent i transportanalysene og nyttekostverktøyet. Ved et økende fokus på å analysere lengre, større og mer omfattende strekninger i sammenheng øker også sannsynligheten for at prosjektet påvirker arealbruken. Å vite mer om hvordan store prosjekter påvirker arealbruk og derav transportetterspørselen er relevant.

Type prosjekter:

- Kartlegge viktigheten av å inkludere LUTI modeller i analysene (kort sikt). Selv om prosjekter i større eller mindre grad kan påvirke arealbruken er det lite kunnskap om viktigheten av å fange opp disse endringene i analysene som gis til beslutningstakerne. Et prosjekt som kartlegger viktigheten av å ta i bruk LUTI modeller i en beslutningssammenheng og prioriteringsrekkefølge mellom prosjekter kan være viktig for å vite hvor mye ressurser som evt. skal legges ned i å inkludere dette på sikt.
- Implementere LUTI modeller som en opsjon i RTM/NTM.

Forventet resultat:

Pilotprosjektene vil antakeligvis gi kunnskap om viktigheten av å hensynta arealbruksendringer i transportanalyser og eventuelt hvilke typer prosjekter/omfang hvor dette er viktigst. Ved å implementere dette i standard modellverktøy vil man forhåpentligvis kunne beregne arealendringer ved behov.

Timeestimat er usikkert.

4.2 Forslag til transportmodellforbedringstiltak i by

Pilot 1: Agent og aktivtetsbaserte modeller

Hvorfor:

I de siste årene har det blitt økt fokus på agent og aktivtetsbaserte modeller i litteraturen og flere land har startet med å bruke slike modeller i bysammenheng. I teorien synes modellene å ta tak i flere av problemene som er knyttet til modellering i by med tradisjonell firetrinnsmetodikk. Derfor synes det hensiktsmessig å øke kunnskapen rundt disse modellene i en norsk setting.

Type prosjekter:

- Kartlegge databehov for å etablere slike modeller (kort sikt)
- Etablere en agentbasert modell for en by i Norge (kort sikt)
- Eventuelt implementere agentbaserte modeller som et valg for byanalyser (lang sikt)

Forventet resultat:

Vil øke kunnskapen rundt agentbaserte modeller i etaten og kunne gi viktig innsikt i behovet for agentbaserte modeller i byområder eller ikke.

Timeestimat: 500 – 1000 t (kort sikt)

Pilot 2: Utfordre IT og transportanalysemiljøet til å se på potensialet i nye datakilder i forhold til transportmodellering

Hvorfor:

Flere større datakilder har blitt gjort tilgjengelig den siste tiden. I SAGA gruppen har man sett på GPS data from TomTom og mobildata fra Telia. Det som kjennetegner begge datasettene er at de inneholder et stort antall observasjoner av valg personer har gjort knyttet til enten rutevalg/destinasjonsvalg for bil (GPS data) eller destinasjon (mobildata). En bør vurdere å sette i gang et arbeid i samarbeid med SAGA gruppen hvor en utfordrer transport og IT miljøet på å benytte kunstig intelligens/maskinlæring til å predikere reiseadferden. Gjerne i kombinasjon med andre datakilder. I UK har man arrangert flere slike konkurranser hvor IT miljøet og transportmiljøet blir utfordret til å finne løsninger knyttet til nye datakilder og mobilitet (se blant annet (Challenge, 2021)). Dette ble også trukket frem som en anbefaling av ITF i rapporten om bruk av stordata (International Transport Forum, 2021).

Dialog med utviklermiljø innenfor maskinlæring tyder også på at det er potensial for å kunne bruke AI/maskinlæring til predikering av destinasjonsvalg i by.

Type prosjekter:

- Kan man benytte mobildata sammen med andre datakilder til predikere destinasjonsvalg
- Arrangere konkurranser om kobling av nye datakilder og modellering av transport

Forventet resultat:

Økt kunnskap om hvilke muligheter som ligger i nye datakilder i forhold til transportmodellering. Kan gi bedre prediksjon av reisemønster og reisemiddelvalg og gi mer datadrevne analyser. Videre kan datasettene kunne gi muligheter for økt analyser av sesong, ukes og døgnvariasjon.

Timeestimat: 500 – 750 t (kort sikt)

Pilot 3: Integrering av LUTI modeller i beregning av fremtidig transportetterspørsel

Hvorfor:

Et sentralt virkemiddel for å oppnå en mer miljøvennlig transportplanlegging er samordnet areal og transport. I så måte synes det som viktig å få integrert det pågående arbeidet med LUTI modellen hos etaten inn i standardoppsettet for RTM beregninger. En kan se for seg at dette blir en opsjon i oppsettet til RTM.

Type prosjekter:

Her pågår det allerede arbeid med uttesting av arealbruksmodell.

Forventet resultat:

Vil gi et verktøy som tar høyde for hvordan ulike arealstrategier påvirker transportetterspørselen.

Pilot 4: Få en felles plattform for presentasjon av NKA analyser og erfaringstall

Hvorfor:

Å ha en felles plattform for deling av resultater fra NKA analyser og erfaringer fra etterprøvningsprosjekter synes hensiktsmessig. Dette spesielt nå hvor vi er i en tid med mange endringer knyttet til reisevaner og teknologisk utvikling, vil det å dele erfaringer på tvers kanskje være ekstra viktig for bedre kunnskapsnivået i transportmiljøet. Videre vil man i porteføljeprioriteringssammenheng være avhengig av å dele resultatene mye internt og eksternt. Videre er historikken i beregningsløpet viktig for å kunne forklare endringer fra gang til gang.

En slik plattform vil også kunne fungere også som forventningsstyring for beslutningstagere samt kvalitetssikring for de som gjennomfører analysene. Videre kan denne innsikten brukes videre utvikling av modellene. NTP samarbeider har allerede en slik portal som man kan se på muligheter for å videreutvikle.

Type prosjekter:

Dashboard for visning av resultater fra NKA analyser

Forventet resultat:

Øke kunnskapen hos transportanalysemiljøet i Norge sikre kvalitet på de analyser som gjennomføres. Videre kan en slik portal gi økt tilgjengelighet til nye brukere av analyser og øke bruken av transportanalyser generelt.

De neste punktene er ikke piloter, men forslag til tiltak som kan gjøres for å øke kunnskapsnivået og forbedre transportmodellene og utviklingen av disse.

Timeestimat: 500 – 1000 t (kort sikt)

Etablere faggrupper på tvers av landene

Hvorfor:

Kartleggingen som er gjort i forbindelse med dette arbeidet tyder på at flere land står eller har stått i tilsvarende utfordringer som man gjør på transportmodellsiden i Norge. I så måte synes det hensiktsmessig å opprette kontakt med andre tilsvarende etater i våre naboland for dele erfaringer. Dette gjelder kanskje spesielt rundt agentbaserte modeller i by som må sees på som en ganske stor endring i transportmodellstrukturen vi har i Norge i dag.

Forventet resultat:

Vil bidra til å sikre kvalitet og øke kunnskapen rundt transportmodellering hos etaten i Norge.

5. REFERANSER

- Adnan, & Muhammad, et al. (2016). SimMobility, Passenger: A multi-scale integrated agent-based simulation platform. *95th Annual Meeting of the Transportation Research Board Forthcoming in Transportation Research Record*.
- Challenge, S.-H. L. (2021). *Sussex-Huawei Locomotion Challenge*. <http://www.shl-dataset.org/activity-recognition-challenge-2020/>
- de Bok, M., & Tavasszy, L. (2018). MASS-GT: de Bok, M. MASS-GT: An empirical agent-based simulation system for urban goods transport (MASS-GT). *Procedia Computer Science*, 130, 126–133.
- Doustmohammadi, Ehsan, Virginia P. Sisiopiku, & Andrew Sullivan. (2016). Birmingham model: "Modeling freight truck trips in Birmingham using tour-based approach." *Journal of Transportation Technologies* 6.05.
- Economics, O. (2021). *Framtidens transport i Norge*.
- Esri. (2021). *Traffic Analyst*. <https://www.esri.com/partners/rapidis-aps-a2T70000000TncXEAW/traffic-analyst-turn-a2d5x000005OzBDAA0>
- Flügel, S. (2021). *Transportmodeller mot fremtiden Muligheter for forbedrede modeller med fokus på reiser i byområder*.
- Flyvbjerg, B., & Bester, D. W. (2021). The Cost-Benefit Fallacy: Why Cost-Benefit Analysis Is Broken and How to Fix It. *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 12(3), 395–419. <https://doi.org/10.1017/bca.2021.9>
- Fox, J., Bhanu, P., & Daly, A. (2013). *OTM 6 Demand Model Estimation*. 119.
- Goves, C., & Hemmings, T. (2016). *Utilising mobile phone data for transport modelling*. 1–74.
- Halse, A., Wangsness, P. B., & Minken, H. (2022). *Endringer i beregningsforutsetninger og betydning for samfunnsøkonomisk lønnsomhet i samferdselsprosjekter* (Issue 66).
- Hjelkrem, O A, Arnese, P., Rennemo, O. M., Dahl, E., Thorenfeldt, U. K., Kroksæter, A., Kristensen, T., & Malmin, O. K. (2017). *Kjøretøybasert beregning av fart, energi og utslipp* (Issue 2017:00031).
- Hjelkrem, Odd Andre, Arnesen, P., Babri, S., Straume, A., & Sondell, R. S. (2020). *Rapport Metodeutvikling for modellering av høyere fartsgrenser*.
- Holmgren, J. (2014). Combining macro-level and agent-based modeling for improved freight transport analysis. *Procedia Computer Science* 32, 380–387.
- Hoque, J. M., Erhardt, G. D., Schmitt, D., Chen, M., Chaudhary, A., Wachs, M., & Souleyrette, R. (2021). The changing accuracy of traffic forecasts. *Transportation*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s11116-021-10182-8>
- International Transport Forum. (2021). *Big Data for Travel Demand Modelling: Summary and Conclusions*. <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/big-data-travel-demand-modelling.pdf>
- ITF. (2017). *Ex-Post Assessment of Transport Investments and Policy Interventions* (Issue ITF Roundtable Reports). <https://doi.org/10.15713/ins.mmj.3>
- ITF. (2021). *Big Data for Travel Demand Modelling*.
- ITF Shared Mobility Simulations. *ITF work on Shared Mobility*. (2022). <https://www.itf-oecd.org/itf-work-shared-mobility>
- Krajzewicz, D., Heldt, B., Nieland, S., Cyganski, R., & Gade, K. (2019). Sustainable urban mobility and commuting in Baltic cities: Guidance for transport modelling and data collection. *Baltic Sea Region Mobility Summit*. http://sumba.eu/sites/default/files/2020-03/D2.3_ModellingGuidelines_final.pdf
- Lee, Kwang Sub, Jin Ki Eom, & Dae-seop Moon. (2014). TRANSIMS: Applications of TRANSIMS in transportation: A literature review. *Procedia Computer Science*, 32, 769–773.
- MAG: SHRP2. (2017). *MAG: SHRP2. MAG Next Generation Freight Demand Model, Final Report*.
- Miller, Eric, Roorda, M., & Carrasco, J. (2005). A Tour-Based Model of Travel Mode Choice. *Transportation*, 32(4), 399–422.
- National Academies of Sciences. (2014). *Activity-Based Travel Demand Models A Primer*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/22357>
- National transport authority, I. (2014). *Modelling services framework - regional modelling system -*

- full demand model spesifisering* (Issue May).
- National transport authority, I. (2020). *Public transport model development*.
- Nye Veier. (2020). *Årsrapport 2020*. <https://www.nyeveier.no/media/32ndrtu1/nye-veier-årsrapport-2020.pdf>
- Odeck, J., & Kjekreite, A. (2019). The accuracy of benefit-cost analyses (BCAs) in transportation: An ex-post evaluation of road projects. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 120(August 2017), 277–294. <https://doi.org/10.1016/j.TRA.2018.12.023>
- Overgård, C., Daly, A., & Vuk, G. (2020). A pivot point procedure in the Compass activity - based model for Copenhagen. *ETC*, 2013.
- Rambøll. (2022). *Brutus*. <https://ramazbrutusasp01d-brutus-demo.azurewebsites.net/>
- Rasouli, Soora, Seheon Kim, & Dujan Yang. (2018). Albatross IV: from single day to multi time horizon travel demand forecasting. *97th Transportation Research Board Annual Meeting*.
- Rich, J., & Hansen, C. O. (2016). The Danish National Passenger Model. *Ejtir, December*, 1–7. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3661.7040>
- Rossi, T. F., & Yoram, S. (1997). Tour based travel demand modeling in the US. *IFAC Proceedings Volumes*, 30.8, 381–386.
- Sakai, & Takanori, et al. (2020). SimMobility, freight: An agent-based urban freight simulator for evaluating logistics solutions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 141(102017).
- Samferdselsdepartement. (2021). Nasjonal transportplan 2022–2033. In *Stortingsmelding 20* (Vol. 20). <https://www.regjeringen.no/contentassets/fab417af0b8e4b5694591450f7dc6969/no/pdfs/stm202020210020000dddpdfs.pdf>
- Samimi, & Amir, et al. (2014). FAME: "An activity-based freight mode choice microsimulation model." . *Transportation Letters* 6.3, 142–151.
- Samset, K. (2014). *I riktig retning*. (Issue CONCEPT 5).
- SANDAG, regional models. (n.d.). Retrieved February 21, 2022, from <https://www.sandag.org/index.asp?classid=32&fuseaction=home.classhome>
- Størdal, J.-M., Kristensen, N. B., Nag, T., Volden, G. H., Jenssen, B. R., & Gjorv, A. B. (2019). *Teknologi for bærekraftig bevegelsesfrihet og mobilitet (ekspertutvalget)*. https://www.regjeringen.no/contentassets/ccdc68196014468696acac6e5cc4f0e7/rapport-teknologiutvalget_web.pdf
- Trafikverket. (2018). *Utvecklingsplan för transportekonomi och kapacitetsanalys*. <http://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1416722/FULLTEXT01.pdf>
- Trafikverket. (2021). *Fördjupade beskrivningar av angelägen forskning och innovation*. <https://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1515806/FULLTEXT01.pdf>
- Trafikverket. (2022a). *Samgods User Manual V1.0*. https://www.trafikverket.se/contentassets/d7cf7d727fb2488aab9fa9d24387c7c8/externa-rapporter/samgods_user_manual_v1.0_rad81.pdf
- Trafikverket. (2022b). *Sampers*.
- Viegas, J. M., & Martinez, L. M. (2010). Generating the universe of urban trips from a mobility survey sample with minimum recourse to behavioural assumptions. *Proceedings of the 12th World Conference on Transport Research*.
- W Axhausen, Kay, Andreas Horni, & kai Nagel. (2016). Matsim: The multi-agent transport simulation MATSim. *Ubiquity Press*.
- Willumsen, L. G. (2017). Make transport modelling fitter for tomorrow, again. *Local Transport Today, February*. https://www.transportxtra.com/publications/local-transport-today/comment/52657/making-transport-modelling-fitter-for-tomorrow-again%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/313895060_Make_transport_modelling_fitter_for_tomorrow_again