Rapport 2022/07

VISTA ANALYSE

Ada. Disaggregert valgmodell for transportanalyser

Dokumentasjon

Tor Homleid, Henning Wahlquist og Eivind Bjørkås

Dokumentdetaljer

Tittel	Ada. Disaggregert valgmodell for transportanalyser for transportanalyser.
Rapportnummer	2022/07
Forfattere	Tor Homleid, Henning Wahlquist og Eivind Bjørkås
ISBN	978-82-8126-565-3
Forsidefoto	Detalj fra Hjernens labyrint, Munchmuséet
Prosjektleder	Tor Homleid
Kvalitetssikrer	Steinar Strøm
Dato for ferdigstilling	21.4.2022
Tilgjengelighet	Offentlig
Nøkkelord	Transportanalyse, transportmodell

Om Vista Analyse

Vista Analyse AS er et samfunnsfaglig analyseselskap med hovedvekt på økonomisk utredning, evaluering, rådgivning og forskning. Vi utfører oppdrag med høy faglig kvalitet, uavhengighet og integritet. Våre sentrale temaområder er klima, energi, samferdsel, næringsutvikling, byutvikling og velferd. Vista Analyse er vinner av Evalueringsprisen 2018.

Våre medarbeidere har meget høy akademisk kompetanse og bred erfaring innenfor konsulentvirksomhet. Ved behov benytter vi et velutviklet nettverk med selskaper og ressurspersoner nasjonalt og internasjonalt. Selskapet er i sin helhet eiet av medarbeiderne.

Forord

Denne rapporten dokumenter første versjon av transportmodellverktøyet Ada. Navnet Ada følger av modellens oppbygging: Basert på kunnskap om transporttilbud og reiseetterspørsel på **A**ggregert nivå gjennomføres beregninger av reisemiddelvalg og transportmiddel/avgang på **D**isaggregert (individ) nivå før resultatene av beregningene igjen **A**ggregeres.

Ada bygger videre på idéer fra InterCity-modellen, som Vista Analyse gjennom mange år har benyttet ved analyser av virkninger av infrastrukturtiltak og endringer i transporttilbud. InterCity-modellen ble, primært, utviklet med sikte på å analysere konkurranseflater mellom tog og andre transportmidler (annen kollektivtransport og personbil). Målet med Ada er å etablere et modellverktøy egnet for å belyse flere ulike problemstillinger innenfor transportmarkedet.

Vi har ingen intensjon om å utvikle et universelt modellverktøy egnet for analyser av alle problemstillinger. Alle modeller har et begrenset anvendelsesområde; modeller som er godt egnet til å belyse en type problemstillinger er oftest mindre egnet for andre. Modellenes viktigste rolle er å bidra til økt kunnskap: «En modell representerer utvalgte egenskaper ved referansesystemet på en slik måte at man kan lære om referansesystemet ved å arbeide med modellen» (Greenberger et.al, 1976). Vårt mål er at bruk av Ada, gjennom mer virkelighetsnær tilnærming til faktiske valgsituasjoner, også skal bidra til økt kunnskap om sammenhenger i transportmarkeder.

Rapporten «Transportmodeller mot fremtiden» (Transportøkonomisk Institutt, TØI 1819/2021) er utarbeidet på oppdrag fra Statens vegvesen og beskriver behov og muligheter for modellutvikling for personreiser i Norge. Det anbefales parallelle løp for modellutvikling der en både videreutvikler dagens transportmodellsystem på kort og mellomlang sikt, samtidig som det satses på nye, mer dynamiske, transportmodeller. Dette vil sikre at transportmodeller får økt relevans for å bidra til utvikling av transportsystemene i fremtiden. Ada er en agentbasert, dynamisk transportmodell klar til bruk.

Vi takker Tony Clay, tidligere rådgiver i NSB og oppdragsgiver i mange prosjekter, for inspirasjon til å gå i gang med utviklingsarbeidet. Vi takker også professor Arne B. Sletsjøe ved Universitetet i Oslo for bidrag til løsning av matematiske problemstillinger. Videre har andre medarbeidere i Vista Analyse bidratt. Med fare for å glemme noen vil jeg nevne professor Steinar Strøm som bl.a. har hjulpet med utvikling av metoder for tilfeldige trekninger med spesifisert korrelasjon. Henning Wahlquist og Eivind Bjørkås har deltatt i utviklingsarbeidet og arbeidet med denne dokumentasjonsrapporten, som er kvalitetssikret av Steinar Strøm. Tor Homleid har ledet utviklingsarbeidet.

Oslo

22. april 2022

Tor Homleid
Partner
Vista Analyse AS

Innhold

Sammendrag 7

1 Innledning 11

2 Ada vs. andre transportmodeller 13
- 2.1 Typologi 13
- 2.2 Transportmarked 15
- 2.3 Trafikantatferd 16
- 2.4 Fordeling på transportmidler 17
- 2.5 Tidsoppløsning / transporttilbud 17

3 Modellstruktur 19
- 3.1 Reisemønster, trafikantatferd og transporttilbud 19
- 3.2 Simulering av valg av transportmiddel og reiserute 21
- 3.3 Resultatuttak og etterberegninger 22
- 3.4 Transporttilbudet i modellen 24
- 3.5 Valgmengden 26
- 3.6 Valgmodellen 27
- 3.7 Beregningsprosedyren 31

4 Bruk og videreutvikling 34
- 4.1 Bruksområder 34
- 4.2 Pågående utviklingsarbeid 36
- 4.3 Muligheter for videre utvikling 38

Vedlegg 45
- A Dataflyt 46
- B NTM vs. billettstatistikk, InterCity 48
- C Vekting av simuleringer 49
- D Punktlighet – optimal buffertid 52
- E Ordliste 55

Figurer og tabeller

Figur S.1 Kobling mellom etterspørsels- og tilbudssiden i trafikkberegningsmodeller 7
Figur S.2 Modellstruktur - Ada 8
Figur 2-1 Kobling mellom etterspørsels- og tilbudssiden i trafikkberegningsmodeller 14
Tabell 2.1 Karakteristika ved transportmodeller 14
Figur 2-2 Ada vs. tradisjonelle (aggregerte) transportmodeller 15
Figur 3-1 Modellstruktur 19
Figur 3-2 Illustrasjon av modellsone (svart sirkel) og primærsone (grunnkretser innenfor sirkelen) i Ada 20
Figur 3-3 Eksempel på analyse av endringer i enkeltvariabel mot resultatdatabasen. 23
Figur 3-4 Transporttilbudet i modellen, reiser fra primærsone A i Modellsone 1 til primærsone B i Modellsone 2 24
Tabell 3.1 Generaliserte kostnader, reiser med individuelle transportmidler (bil) 30
Tabell 3.2 Generaliserte kostnader, reiser med kollektive transportmidler 31
Figur 4-1: Illustrasjon av reisekjeder i dagens versjon av Ada og med koblet reisemiddelvalg (reisekjeder hvor flere, ulike transportmidler inngår) 37
Figur 4-2 Trengselskostnader. Sammenheng med setekapasitetsutnyttelse 39
Figur 4-3 Oversikt over databaser og dataflyt i Ada 46
Figur 4-4 Sammenlikning beregnet antall kollektivreiser til/fra Oslo vs. Vy's billettstatistikk . 48

Sammendrag

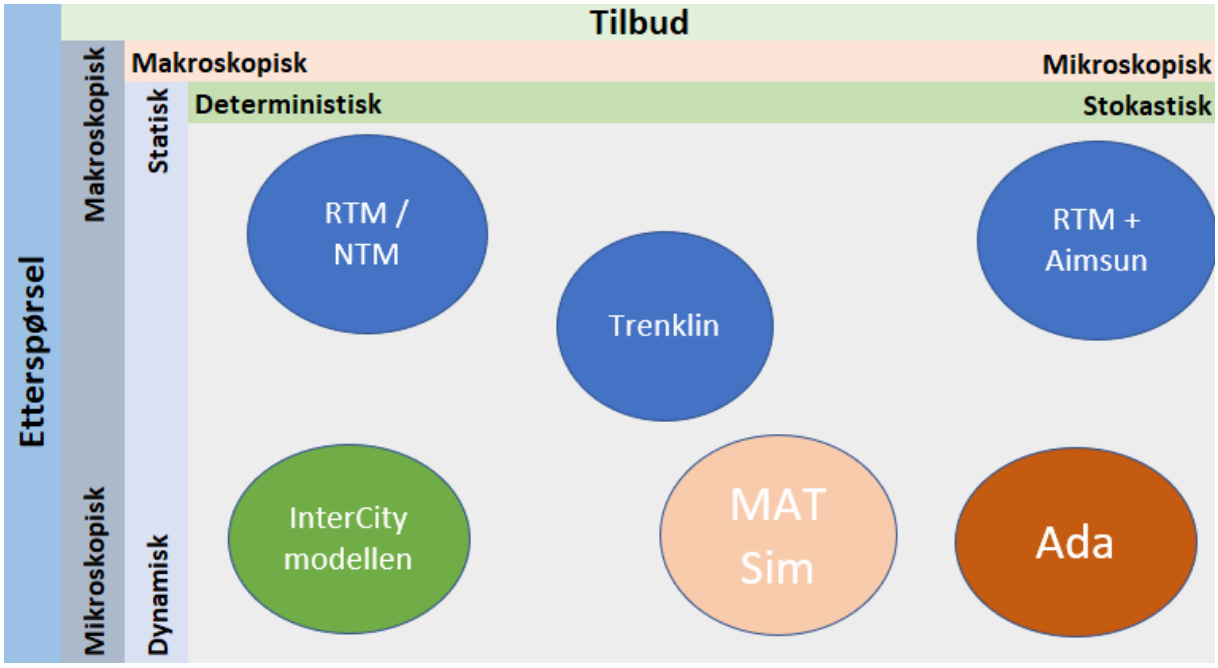
Ada er Vista Analyses nye modellverktøy for transportanalyser. Valg av transportmiddel, reiserute og avgang baseres i Ada på individuelle preferanser og et transporttilbud med tidsoppløsning. Dette gir nye muligheter sammenliknet med tradisjonelle modeller basert på gjennomsnittlige preferanser og aggregert transporttilbud.

I denne rapporten gis en oversikt over modellverktøyet, slik det foreligger i dag. Vi sammenlikner også Ada med andre modellverktøy som i dag benyttes ved transportanalyser, og identifiserer områder hvor Ada vil være særlig godt egnet. Dette inkluderer analyser av konkurranseflater i regionale transportmarkeder, konkurranseflater mellom kollektive transportmidler med ulike egenskaper og bompenge- og ferjeavløsningsprosjekter.

Ada representerer en ny type transportmodellverktøy. Dette åpner opp for å tenke nytt, og vi arbeider med å utforske dette potensialet. Pågående utviklingsarbeid knyttet til inkludering av komfort/sikkerhet og reisekjeder med ulike transportmidler i valgmodellen ferdigstilles innen kort tid. Vi utforsker også nye muligheter til å inkludere trengsel og punktlighet i individbaserte valgmodeller som Ada.

Hva skiller Ada fra andre transportmodeller?

Figur S.1 Kobling mellom etterspørsels- og tilbudssiden i trafikkberegningsmodeller



Kilde: Vista Analyse (inspirert av TØI 1819/2021, s. 5)

Ada skiller seg fra andre transportmodeller ved at både tilbuds- og etterspørselssiden i modellen kan karakteriseres som mikroskopisk: I stedet for estimerte gjennomsnittspreferanser simuleres enkeltindividers valg basert på variasjon i preferanser. Transporttilbudet representeres med tidsoppløsning; konkrete ruteplaner for kollektivtilbudet og variasjoner i reisetid over døgnet for veitransport. Modellen skiller seg dermed klart ut fra andre modeller (RTM/NTM og Trenklin) som baseres på aggregert atferd og transporttilbud uten tidsoppløsning.

Det er flere styrker ved en mikroskopisk tilnærming:

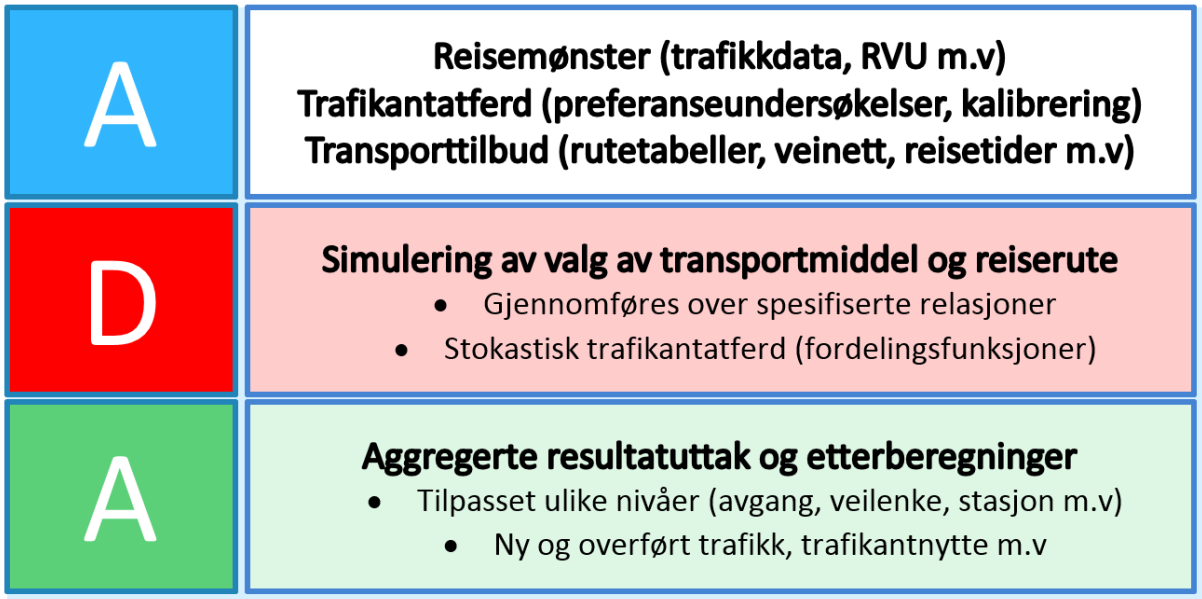
- Mindre behov for å segmentere reisemarkedet etter reisehensikter og sosioøkonomiske variabler.
- Vesentlig bedre muligheter for å ivareta konkurranseflater mellom nære substitutter (f.eks. ulike kollektivtransportmidler)

Ada fokuserer på valg av transportmiddel og reiserute. Reisemønster (turfordeling) baseres på empiri, men modellen beregninger endringer i reisemønster med utgangspunkt i beregnede endringer i Generaliserte kostnader. Sammenliknet med RTM/NTM innebærer dette at usikkerhet knyttet til reisemønsteret reduseres i tilfeller hvor det er høy kvalitet på empiriske data om reisemønster (f.eks. togtrafikk), samtidig vil usikkerheten knyttet til endringer i reisemønster i noen tilfeller kunne være større når disse beregnes på grunnlag av endringer i Generaliserte kostnader alene.

Hva mener vi med Aggregert-Disaggregert-Aggregert?

Ada henter navnet fra modellstrukturen; **A**ggregert-**D**isaggregert-**A**ggregert. Med utgangspunkt i aggregerte data om transportmarkedet, gjennomføres et stort antall simuleringer av valg av transportmiddel og reiserute. Resultater (og forutsetninger) for enkeltsimuleringene lagres i en resultatdatabase.

Figur S.2 Modellstruktur - Ada



Kilde: Vista Analyse

Ved avslutning av modellkjøringen beregnes aggregerte resultater, tilpasset ulike behov (belastning på veinett over døgn, belegg og reisemønster for avganger / aggregert over døgnet, trafikantnytte, inntekter fordelt på lenker i veinett og avganger i kollektivtilbud mv.).

Det er også mulig å gjøre etterberegninger / følsomhetsanalyser mot resultatdatabasen for å analysere virkninger av endringer i enkeltforutsetninger. Eksempler på dette kan være endringer i billettpriser for kollektive transportmidler eller endringer i bompengetakster.

Muligheter og begrensninger, første versjon av modellen

Alle modellverktøy vil ha noen styrker og noen svakheter. Ada er ikke (eller i liten grad) tilrettelagt for å håndtere gang/sykkel som eget transportmiddel. Videre behandles kvaliteten på transporttilbudet eksogent, dvs. at modellen ikke beregner virkninger av endringer i kvaliteten på tilbudet som følge av endret belastning (køer, trengsel). Dette er begrensende i forhold til analyse av tiltak hvor mindre køer/trengsel er et viktig mål, f.eks. økt veikapasitet i byområder.

Områder hvor vi mener den mikroskopiske tilnærmingen i Ada kan bidra til høyere kvalitet på transportanalysene inkluderer:

- Konkurranseflater i regionale transportmarkeder
  - Infrastrukturinvesteringer i jernbanenettet
  - Større investeringer i veinettet (med unntak for prosjekter i områder med omfattende køproblematikk)
  - Større tilbudsendringer innenfor kollektivtrafikk
- Konkurranse mellom ulike kollektive transportmidler
  - Tilbringertrafikk til lufthavner (f.eks. Flytoget/andre tog/ekspressbuss til/fra Oslo Lufthavn)
  - Ekspressbusser vs. regiontog (InterCity-markedet m.fl.)
  - Konkurranse om trafikkgrunnlag mellom ulike lufthavner[1]
- Bompenger og ferjeavløsning
  - Endringer i ferjetilbud og ferjeavløsningsprosjekter
  - Virkninger av endringer i brukerbetaling (bompengeprosjekter, veiprising)

Disaggregert valgmodell gir nye utviklingsmuligheter

En viktig erkjennelse i arbeidet med å utvikle Ada er at modellstrukturen åpner nye muligheter både for inkludering av flere variabler og for å analysere / forstå transportmarkedet. Pågående utvikling av modellverktøyet er innrettet mot:

- Inkludere kjørekomfort/sikkerhet (som multiplikator på verdsetting av reisetid) for å fange opp virkninger av høyere standard (vei eller kollektivtransportmiddel).
- Inkludere reisekjeder med flere transportmidler (for å ivareta lange tilbringerreiser med bil og kombinasjoner av ulike kollektive transportmidler)
- Utforske muligheter for analyser mot resultatdatabasen.

Disaggregert (agentbasert) valgmodell med tidsoppløsning gir også muligheter til å integrere flere variabler i valgmodellen. Vi utforsker derfor:

- Ulike muligheter for å inkludere trengsel i kollektivtrafikk
- Om punktlighet/forsinkelser kan implementeres som en kombinasjon av
  - Kjørekomfort (vekting av tid i transportmiddel)
  - Avveining mellom ulempe ved for sen ankomst og tiltak for å unngå for sen ankomst (buffertid, ekstra ventetid)

[1] Når pågående utviklingsarbeid knyttet til reisekjeder er implementert i modellverktøyet, jfr. avsnitt 4.2.2.

Denne type endringer øker behovet for grunnlagsdata og kompleksiteten i modelluttrykket. Vi vurderer derfor at det er hensiktsmessig å gjennomføre mindre tester, gjerne med flere alternative modellformuleringer, før evt. implementering i modellverktøyet.

Valgmodellen baseres i dag på reiser i en retning, i noen tilfeller gir dette (uønskede) ubalanser når trafikken fordeles på retninger. Dersom bruk av modellverktøyet avdekker større problemer knyttet til dette, er det også aktuelt å endre modellspesifikasjonen slik at valg av transportmiddel og reiserute baseres på tur-retur reiser.

1 Innledning

Ada er Vista Analyses nye verktøy for etablering av transportmodeller. Bak utviklingen av verktøyet ligger en filosofi om at realistisk representasjon av trafikantenes preferanser og valgmuligheter bidrar til å øke kvaliteten på transportanalysene. To hovedgrep for å oppnå dette er:

1. I stedet for gjennomsnittlige, estimerte, preferanser gjennomføres simuleringer med ulike preferanser trukket fra sannsynlighetsfordelinger.
2. I stedet for gjennomsnittlig kvalitet representeres transporttilbudet ved ruteplaner for kollektivtransport og variasjoner i kjøretid over døgnet for veitransport. Reisekostnader er gitte størrelser.

Vista Analyse har i 20 år benyttet InterCitymodellen ved analyser av transportmarkedet. Modellen har vært benyttet i en rekke sammenhenger, men primært ved analyser av konkurranseflater mellom ulike kollektive transportmidler (ulike topprodukter, buss, fly) og mellom kollektive transportmidler og bil.

Utviklingen av Ada bygger på erfaringer med utvikling og bruk av InterCitymodellen – og flere viktige karakteristika ved denne modellen er beholdt:

- Beregningene baseres på simulering av reisemiddelvalg for enkeltreiser hvor OD[2] og trafikantenes preferanser trekkes fra fordelinger.
- Modellen håndterer ulik substitusjonsgrad mellom ulike transportmidler gjennom korrelasjon mellom preferanser knyttet til ulike transportmidler.
- Reisemønsteret i modellen forutsettes (primært) basert på empiriske data.

Utgangspunkt for arbeidet med Ada var å utvikle et modellverktøy som gir høyere kvalitet på beregningene innenfor områder hvor InterCity-modellen har vist seg velegnet. I tråd med dette er Ada lagt til rette for:

- En finere geografisk oppløsning av transporttilbudet (vei og kollektiv).
- Transporttilbud med tidsoppløsning (avgangs- og ankomsttider fra ruteplaner for kollektivtrafikk og variasjoner i reisetid over døgnet for individuelle transportmidler).
- Fordeling av etterspørselen over døgnet basert på ønsket ankomst/avreisetid.
- Fleksible løsninger for hvilke variabler som inngår i modellen, geografisk avgrensning og oppløsning.

Ved modellkjøringer med Ada representerer hver simulering en (andel av en) reise, hvor trafikantens preferanser og valgmuligheter inngår som grunnlag for valg av transportmiddel, reiserute og avgang. I modellverktøyet lagres alle resultater fra simuleringene. Dette kan sammenliknes med en syntetisk reisevaneundersøkelse.

I neste omgang kan lagrede resultater fra en modellberegning benyttes som utgangspunkt for å analysere virkninger av endringer i transporttilbud – eller til å gjøre følsomhetsanalyser knyttet til variasjoner i enkeltvariabler. På denne måte unngås usikkerhet knyttet til ulike utvalg ved sammenlikning av resultater fra to modellberegninger (kan sammenliknes med paneldata).

Ada er ikke utviklet med sikte på å håndtere alle problemstillinger vi står overfor i transportmarkedet. Som alle andre modeller vil Ada være godt egnet til å belyse noen problemstillinger, brukbar til å belyse

[2] OD – Origin Destination (utgangspunkt og målpunkt for reisen)

andre problemstillinger, samtidig som det også vil finnes problemstillinger innenfor transportmarkedet hvor modellen ikke er egnet.

Status for utviklingsarbeidet er nå (utgangen av mars 2022) at vi har et etablert modellverktøy som er klar til å tas i bruk til ulike typer analyser. Vi har også bygget en «testmodell» (Trønderbanens konkurranseflater) som benyttes i forbindelse med kvalitetssikring og uttesting av modellverktøyet.

I løpet av året vil vi etablere modeller for et utvalg markeder hvor vi mener Ada vil kunne bidra til å belyse markedet bedre enn andre transportmodeller. Primært ønsker vi i denne fasen å samarbeide med aktører (f.eks. transportetatene, operatører og administrasjonsselskap) om å belyse konkrete problemstillinger.

I denne rapporten gis en beskrivelse av første versjon av modellverktøyet. Rapporten er ikke en fullstendig dokumentasjon av Ada; målet med rapporten er å gi et innblikk i modellverktøyet og å stimulere til diskusjon om modellutvikling og bruk av transportmodeller.

I kapittel 2 beskrives egenskaper ved Ada sammenliknet med andre transportmodeller. Vi legger her særlig vekt på sammenlikning med NTP-modellene (Regionale Transportmodeller, RTM og Nasjonal Transportmodell, NTM). I kapittel 3 gjennomgås modellstrukturen (A-D-A) på et overordnet nivå, i tillegg gis en nærmere beskrivelse av den disaggregerte valgmodellen (D). I Kapittel 4, Bruk og videreutvikling, peker vi på aktuelle bruksområder for eksisterende modellversjon. Videre gjennomgås pågående utviklingsarbeid og muligheter for videre utvikling av modellverktøyet.

2 Ada vs. andre transportmodeller

2.1 Typologi

En sammenlikning mellom Ada og andre transportmodeller kan gjøres med ulike tilnærminger. I rapporten «Transportmodeller mot fremtiden» (Transportøkonomisk Institutt, TØI 1819/2021) karakteriseres ulike transportmodeller ut fra ulike egenskaper[3]. I framstillingen deles transportmodellene inn etter hvordan transportetterspørselen og trafikkavviklingen er representert. *Etterspørselsmodellene* deles inn i tre kategorier:

- Statisk/makroskopisk: Modeller som beregner aggregert etterspørsel, men ikke har tidsdimensjon.
- Dynamisk/makroskopisk: Modeller som beregner aggregert etterspørsel, med tidsdimensjon.
- Dynamisk/mikroskopisk: Modeller med tidsdimensjon som beregner etterspørsel basert på enkeltindividers (agenters) atferd.

Ut fra dette perspektivet er Ada en dynamisk/mikroskopisk modell. Etterspørselen fordeles over dagen basert på ønsket ankomst- eller avreisetidspunkt og valg av transportmiddel og reiserute er agentbasert. NTP-modellene (RTM/NTM) er statisk/makroskopiske, modellene mangler tidsdimensjon[4] og fordeling av reiser på transportmidler og reiseruter gjøres på aggregert nivå. Jernbanedirektoratets modell, Trenklin, er dynamisk/makroskopisk, etterspørsel beregnes aggregert, men inneholder en tidsdimensjon når trafikkvolumene fordeles på avganger. InterCity-modellen[5] kan, i dette perspektivet, defineres som statisk/mikroskopisk; Valg av transportmiddel er agentbasert, men modellen har ingen tidsdimensjon.

I arbeidet deles etterspørselsmodellene videre inn etter:

1. reisenes opphav (attraksjonsbaserte eller aktivitetsbaserte modeller)
2. tidsmessig avhengighet mellom aktiviteter (turbasert eller modeller for hele dagen)
3. ivaretakelse av heterogenitet i befolkningen (segmenter eller syntetisk befolkning)

I dette perspektivet kan Ada beskrives som attraksjonsbasert, turbasert og med syntetisk befolkning.

Trafikkavviklingen (tilbudssiden) i modellene beskrives også i tre dimensjoner; Statisk/dynamisk, Makroskopisk/mesoskopisk/mikroskopisk og deterministisk/stokastisk. Ut fra disse dimensjonene karakteriseres RTM/NTM som statisk, makroskopisk og deterministisk, Trenklin som dynamisk, makroskopisk og deterministisk, mens Ada er dynamisk, mikroskopisk og stokastisk[6].

I (TØI 1819/2021, s. 5) plasseres ulike modeller basert på de karakteristika vi har beskrevet over. I tillegg til RTM/NTM og Trenklin omtales også MATSim. MATSim er en agentbasert transportmodell, men inkluderer ikke detaljert kjøreatferd for trafikantene. Den betegnes derfor som en mesoskopisk modell. Sammenliknet med mikroskopiske modeller (som Ada) er dette en fordel ved analyse av større nettverk. I Figur 2-1 nedenfor har vi innplassert InterCitymodellen og Ada i det bildet som gis av ulike transportmodeller i TØI-rapporten.

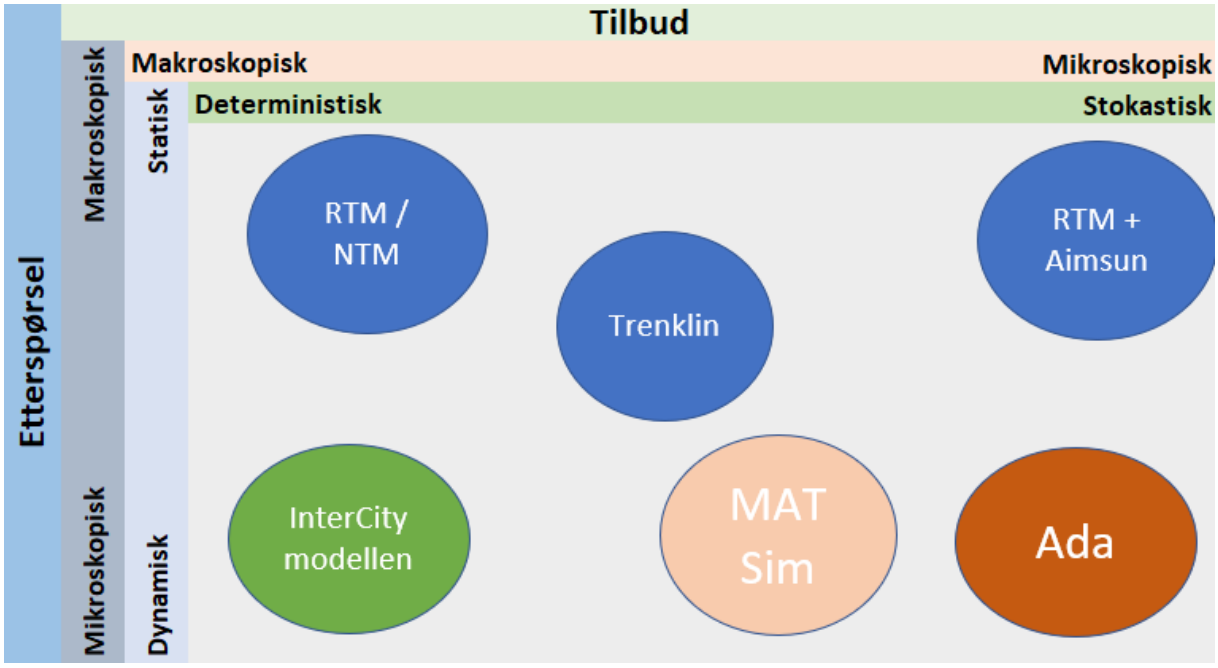
[3] Beskrivelsen nedenfor er basert på kapittel 2.2 i (Transportøkonomisk Institutt, TØI 1819/2021)

[4] Det er etablert rutiner for å flytte veitrafikk mellom ulike tidsperioder i forbindelse med utlegging av trafikk på veinettet.

[5] Vista Analyses tidligere transportmodell

[6] Stokastikken er ivaretatt gjennom variasjon i trafikantenes preferanser, hver agent velger ruten med lavest subjektiv kostnad.

Figur 2-1 Kobling mellom etterspørsels- og tilbudssiden i trafikkberegningsmodeller



Kilde: Vista Analyse

En mikroskopisk/stokastisk valgmodell er spesielt egnet i tilfeller hvor det er ulik substitusjonsgrad mellom transportmidlene som inngår i valgmodellen, avhengig av størrelse og retning på endringen i konkurranseforhold mellom transportmidlene. En annen fordel er konsistens i preferanser mellom reisemiddelvalg og rutevalg, noe som ikke er trivielt i makroskopiske modeller.

Ada skiller seg fra NTP-modellen og Trenklin ved at modellen (i dagens versjon) ikke har noen tilbakekobling mellom nettutlagt trafikk og trafikantenes atferd. Dette begrenser muligheten til å anvende modellen på analyse av enkelte typer tiltak, f.eks. tiltak for bedre framkommelighet i tettbygde områder.

Innarbeiding av tilbakekobling mellom nettutlagt trafikk i Ada gir store muligheter – særlig for kollektivtrafikk – et område hvor utformingen av modellverktøyet gir betydelige muligheter. Dette kommenteres nærmere i kapittel 4.

Videre i dette kapitlet gjennomgås (avsnitt 2.2-2.5) forskjeller mellom Ada og andre transportmodeller som er i bruk i Norge med utgangspunkt i karakteristika oppsummert i Tabell 2.1.

Tabell 2.1 Karakteristika ved transportmodeller

	Ada	RTM /NTM	InterCity-modellen	Trenklin
Transportmarked	Fokusert	Hele	Fokusert	Fokusert
Trafikantatferd	Individuell	Gjennomsnitt	Individuell	Gjennomsnitt
Transportmidler	Flere	Flere	Flere	Ett
Tidsoppløsning	Ja	Nei	Nei	Ja

Kilde: Vista Analyse

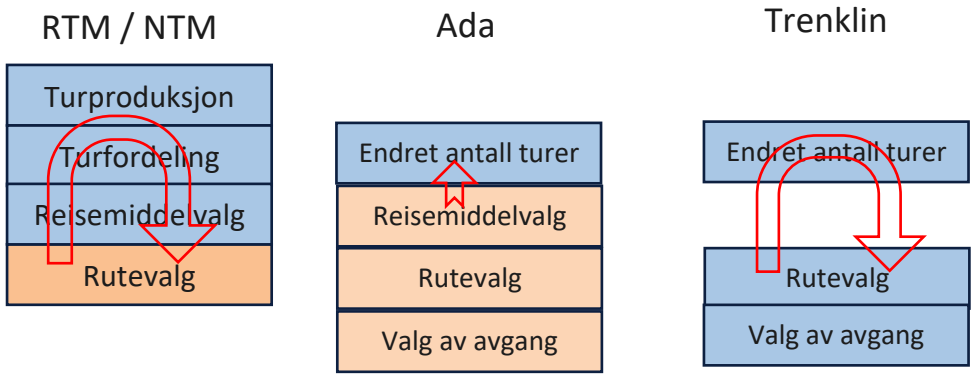
2.2 Transportmarked

Transportmodeller kan innrettes med sikte på å omfatte alle reiser som gjennomføres innenfor et geografisk område, eller begrenses til utvalgte reisemarkeder. Modeller som omfatter alle reiser (f.eks. RTM og NTM) betegnes ofte som 4-trinnsmodeller og beregner:

1. Antall reiser som gjennomføres (turproduksjon)
2. Reisemønster (turfordeling)
3. Fordeling av reisemønster på transportmidler
4. Utlegging av reisene på transportnett for de ulike transportmidlene.

Figur 2-2 oppsummerer forskjellene mellom Ada og tradisjonelle persontransportmodeller (som Nasjonal Transportmodell – NTM og Regionale Transportmodeller – RTM).

Figur 2-2 Ada vs. tradisjonelle (aggregerte) transportmodeller



Kilde: Vista Analyse

I RTM/NTM beregnes turproduksjon, turfordeling og valg av transportmiddel (1. – 3.) simultant basert på input om kvaliteten på transportnettet (4). Deretter fordeles resulterende reiser ut på et transportnett (4) som er kodet som «gjennomsnittstilbud». For veitrafikk påvirkes framkommelighet av trafikkvolumene, dvs. modellen kan gjøres gjentatte ganger til likevekt (balanse mellom beregnet etterspørsel og reisetid).

«Tradisjonelle» modeller har en etterspørselsside som kan deles inn i turproduksjon (antall turer), turfordeling (reisemønster) og reisemiddelvalg, mens tilbudssiden består av mulige reiseruter mellom soner (ofte grunnkretser) i modellen for transportmidlene som inngår. Er det flere alternative ruter mellom to soner for et transportmiddel, lages et vektet transporttilbud. For gitt kvalitet på transporttilbudet bestemmes de tre elementene i etterspørselssiden simultant – og på aggregert nivå. Deretter legges beregnet transport ut på nettet. Modellen kan deles inn i flere tidsperioder, resultatene vil være gjennomsnittsresultater for hver tidsperiode.

I Ada beregnes reisemiddel- og rutevalg samt valg av avgang simultant, med utgangspunkt i et gitt antall turer, basert på kostnadsminimering (av generaliserte kostnader).

Ada beregner fordeling av reisene på transportmidler (3) og transportnett (4) simultant. Detaljering av transportnettet kan tilpasses ulike behov. Transporttilbudet er kodet med tidsoppløsning, trafikkvolumene fordeles på avgangsnivå. Ada beregner endringer i reisemønster med utgangspunkt i endringer i generaliserte kostnader på relasjonsnivå.

Jernbanedirektoratets modell, Trenklin, er begrenset til utlegging av togreiser på transportnettet (4), men jernbanenettet er detaljert kodet (tid og kapasitet i hver avgang). Modellen inneholder rutiner for omfordeling av reiser mellom avganger dersom belegget i enkeltavganger beregnes å gi trengsel. I tillegg beregnes endringer i antall togreiser (dvs. en tilnærming til (2)) på grunnlag av endringer i generaliserte kostnader. Antall togreiser i referansesituasjonen baseres på empiri.

InterCity-modellen er konsentrert om valg av transportmiddel (3). For hvert transportmiddel gir modellen trafikkvolumer over definerte snitt (mellom modellsoner). Disse volumene kan fordeles ut på vei- eller kollektivnett (4), i praksis blir dette bare gjort for kollektive transportmidler. Reisemønster for de ulike transportmidlene i referansesituasjon baseres på empiri og/eller beregninger.

2.3 Trafikantatferd

Et mål med transportmodeller er å reprodusere trafikantatferd på en realistisk måte. For å kartlegge trafikantatferd gjennomføres utvalgsundersøkelser (reisevaneundersøkelser, preferanseundersøkelser) som gir et datasett med observasjoner av enkeltindividers valg i ulike situasjoner. Med dette utgangspunktet gjennomføres så en statistisk analyse av datasettet som fører fram til:

1. Punktestimat for parameterverdier
2. Sannsynlighetsfordeling for parameterverdiene
3. Kovarians mellom parameterverdiene

I tradisjonelle modeller (f.eks. RTM/NTM) er det punktestimatene for parameterverdiene som benyttes i transportmodellen. Indirekte legges det da til grunn at atferden for en større gruppe av trafikanter kan representeres av en «gjennomsnittstrafikant», og endringer i transportstrømmer som følge av tiltak i transportnettet beregnes aggregert for grupper av trafikanter.

I Ada (og InterCitymodellen) benyttes ikke punktestimater (1) for parameterverdiene. I stedet benyttes sannsynlighetsfordelinger for (2) og kovarians mellom (3) parameterverdiene. Ved gjennomføring av beregninger med modellen simuleres deretter atferd for «enkeltindivider» innenfor trafikantgruppen med utgangspunkt i strukturerte trekninger fra sannsynlighetsfordelingene.

Så lenge endringene i transporttilbud er begrenset og kovariansen mellom parameterverdiene er liten, vil de to metodene gi (tilnærmet) samme resultat. Dersom det er stor varians i parameterverdier og – særlig – dersom det kovariansen mellom parameterverdiene er stor, vil «gjennomsnittsberegninger» i liten grad fange opp hvordan endringene i transporttilbud påvirker trafikkstrømmene.

Svakhetene ved bruk av punktestimater søkes redusert gjennom å:

1. Segmentere reisemarkedet slik at variansen innenfor hvert segment reduseres; f.eks. inndeling etter reisehensikt.
2. Redusere antall parametere gjennom å estimere felles paramaterverdier for nære substitutter, f.eks. «kollektiv» i stedet for buss, trikk og tog for å redusere kovariansen.

Ved modellering hvor individenes heterogenitet ivaretas (Ada), reduseres behovet for å segmentere reisemarkedet etter reisehensikter og sosioøkonomiske variabler. Viktigere er det at muligheten for å ivareta konkurranseflater mellom nære substitutter forbedres vesentlig.

Verdsetting av reisetid avhenger av reiselengde (evt. reisetid), dette er et konsistent funn fra en rekke verdsettingsstudier, se f.eks. (TØI, TØI rapport 1778/2020) I Ada er det mulig å legge inn distanse-avhengige parameterverdier for verdsetting av reisetid som reflekterer dette.

2.4 Fordeling på transportmidler

Fordeling på ulike transportmidler kan gjøres som en del av reisemiddelvalget (Trinn 3) eller utleggingen av reisene på transportnettet (Trinn 4). I NTP-modellene behandles kollektivtransport på ulike måter i den nasjonale (NTM) og de regionale modellene (RTM). I den nasjonale modellen (NTM) fordeles reisene mellom ulike kollektivtransportmidler i reisemiddelvalget, i de regionale modellene (RTM) behandles «Kollektiv» som et transportmiddel i reisemiddelvalget før reisene fordeles på ulike kollektivtransportmidler i forbindelse med nettutlegging. Implisitt ligger da en forutsetning om at parameterne for ulike kollektivtransportmidler er identiske (100 % korrelasjon) i RTM, mens de er uavhengige (ingen korrelasjon) i NTM.

Felles for RTM/NTM er at modellformuleringen ikke ivaretar ulik substitusjonsgrad mellom alternativer. Dersom kvaliteten på f.eks. togtilbudet forbedres i NTM, vil overføringen fra andre transportmidler alltid være proporsjonal med andre transportmidlers markedsandel før forbedringen gjennomføres.

Når valg av transportmiddel og reiserute gjøres «individbasert» (Ada) ivaretas kovarians (korrelasjon) mellom parameterverdier for ulike transportmidler i beregningene. Da fanges også ulik substitusjonsgrad opp, slik at f.eks. et forbedret togtilbud vil hente en større andel av trafikantene fra nære substitutter (f.eks. buss) enn fra transportmidler med mer ulike egenskaper (buss, fly). Forholdet er illustrert i .

I tillegg til en mer realistisk fordeling av reiser mellom transportmidler med liknende egenskaper, gjør modellformuleringen i Ada det mulig å inkludere flere (nye) transportmidler i modellen uten endring i parameterverdier for eksisterende transportmidler. Det er likevel nødvendig å legge inn forutsetninger om korrelasjoner i verdsetting mellom eksisterende og nye transportmidler.

2.5 Tidsoppløsning / transporttilbud

I RTM/NTM (og andre modeller basert på gjennomsnittsatferd og aggregerte transportstrømmer) er kollektivtilbudet representert gjennom reisekostnader, avstand, reisetid og frekvens for ulike linjer, mens transporttilbud på vei representeres ved reisekostnader, avstand og reisetid. På relasjoner hvor flere, ulike tilbud er representert, slås de alternative tilbudene sammen til ett (gjennomsnitts-) tilbud før beregning av etterspørsel. Etter beregning av etterspørsel fordeles så aggregert etterspørsel ut på linjer i kollektivnettet og lenker i veinettet.

Flere leverandører av nettverksmodeller tilbyr rutiner for fordeling av kollektive trafikkstrømmer beregnet med aggregerte etterspørselsmodeller (som RTM/NTM) ut på avganger i kollektivtilbudet. I rapporten «*Tidtabellbasert kollektivrutevalg og modellering av korresponderende ruter med CUBE Voyager*» (Transportøkonomisk Institutt, TØI rapport 1633/2018) undersøkes rutinen i nettverksmodellen som i dag benyttes i tilknytning til NTP-modellene. Rapportens konklusjon er at rutinene i eksisterende versjon av Cube kan medføre inkonsistens mellom alternativer – og at rutinen bør videreutvikles før den evt. blir tatt i bruk ved beregninger med RTM.

Jernbanedirektoratets Trenklin kombinerer aggregert (makroskopisk) etterspørsel med togreiser med et tidsoppløst togtilbud. For å få til dette er det etablert funksjoner for fordeling av etterspørselen over døgnet. Basert på fordeling av etterspørselen på avganger beregnes trengselskostnader i de ulike avgangene, som i neste omgang benyttes til å omfordele reiser mellom avgangene. Gjennom iterasjoner søkes etablert en likevekt mellom trengselsnivå og belegg i avgangene hvor ingen trafikanter kan øke nytten ved å bytte til en annen avgang.

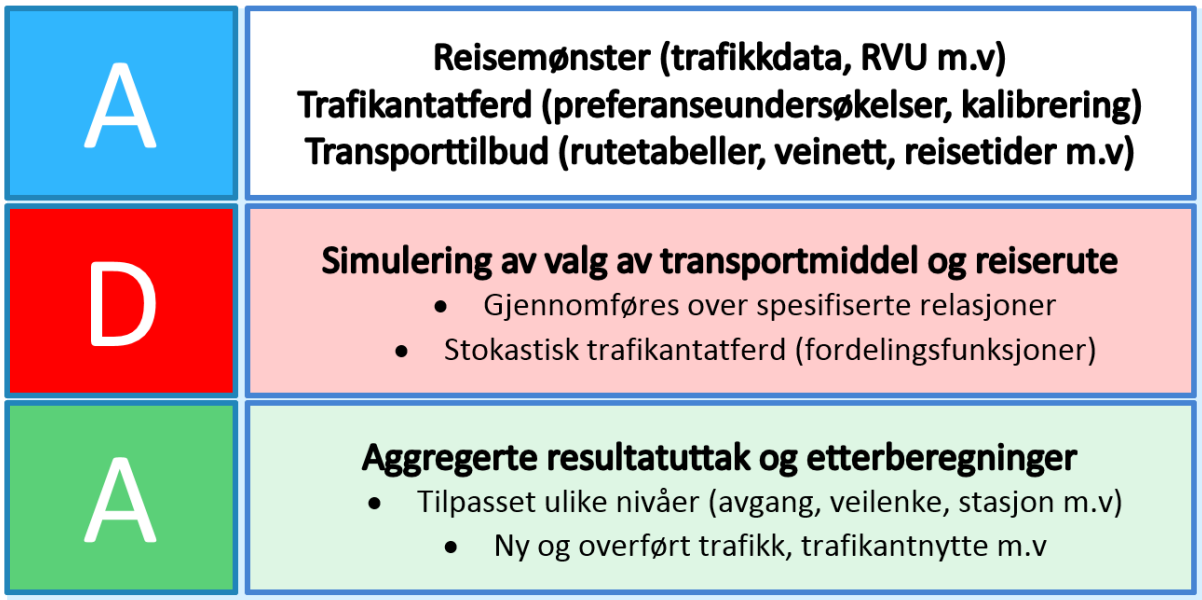
I Ada fordeles beregnet etterspørsel over tid, basert på (ønsket) ankomst- og/eller avreisetidspunkt, mens transporttilbudet baseres på faktiske ruteplaner for kollektivtransport og variasjoner i kvaliteten på transporttilbudet på vei.

3 Modellstruktur

I dette kapitlet gis en kortfattet oversikt over oppbyggingen av Ada. Vedlegg A gir en oversikt over dataflyt i modellverktøyet. Avsnitt 3.7 gir en nærmere beskrivelse av beregningsprosedyren.

Navnet på modellverktøyet, Ada, er knyttet direkte til hvordan verktøyet er bygget opp: Basert på kunnskap om transporttilbud og reiseetterspørsel på **a**ggregert nivå gjennomføres beregninger på **d**isaggregert (individ) nivå før resultatene av beregningene igjen **a**ggregeres. Figur 2.1 gir en oversikt over de tre trinnene i modellen.

Figur 3-1 Modellstruktur



Kilde: Vista Analyse

3.1 Reisemønster, trafikantatferd og transporttilbud

Det første trinnet innebærer å etablere et modelloppsett og datagrunnlag som gjenspeiler det markedet som skal analyseres. Det betyr å innhente informasjon om dagens situasjon når det gjelder influensområde og avgrensning av det markedet som ønskes belyst og videre kartlegging av trafikkvolumer, transporttilbud og brukerpreferanser innenfor dette markedet.

Modellverktøyet inneholder ingen rutiner for estimering av parametere eller for etablering av reisemønster. I stedet er det lagt opp til at parameterverdier og reisemønster – inkludert variasjoner over døgnet – etableres med utgangspunkt i tilgjengelig empiri (reisevaneundersøkelser, preferanseundersøkelser). I dette arbeidet er det en fordel å kombinere data fra flere ulike kilder, som reisevaneundersøkelser, trafikkdata fra kollektivselskaper og trafikkregistreringer i veinett.

Reisemønster

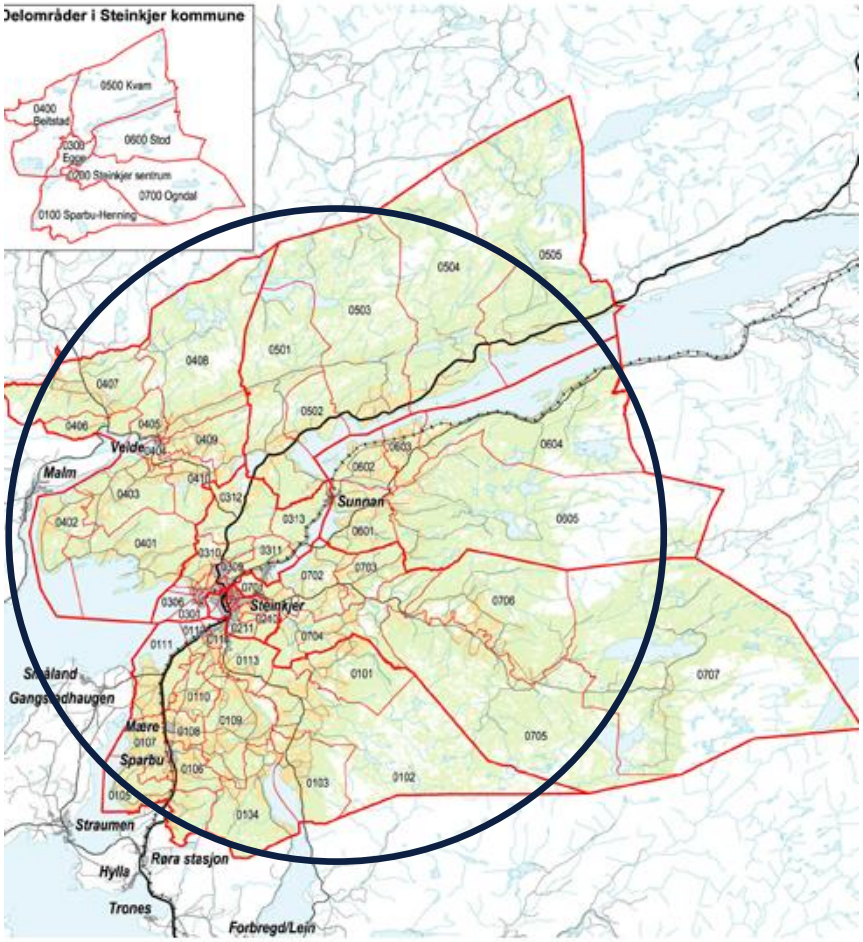
ADA baseres på at det etableres kunnskap om eksisterende transportstrømmer for en referansesituasjon (dagens situasjon). For å få et komplett reisemønster, inkludert fordeling av reiser på reisehensikter

og fordeling av reisene over driftsdøgnet, vil det i mange tilfeller være nødvendig å supplere tilgjengelig empiri for det markedet som skal analyseres med analogier til empiri fra andre markeder og/eller interpolasjon/ekstrapolasjon av de data som er tilgjengelige. Et alternativ kan også være å benytte syntetiske reisemønster som utgangspunkt.

Etablert reisemønster legges inn i modellens datasett i form av antall turer på hver *relasjon* som inngår i modellen. En relasjon er en forbindelse mellom to modellsoner. Innenfor hver modellsone kan det være en eller flere primærsoner. Ved avgrensing av modellsonene kan det også tas hensyn til kvaliteten på tilgjengelige data om reisestrømmer.

Primærsonene inneholder attraherings- og genereringsfaktorer (bosatte, arbeidsplasser mv.) som benyttes som utgangspunkt for å fordele reiseetterspørselen innenfor modellsonen. Størrelse på modellsoner og primærsoner (og antall relasjoner i modellen) velges ved etablering av modellen, tilpasset problemstillingen modellen skal belyse. Primærsonedata kan f.eks. baseres på grunnkretsdata, delområdedata eller kommunedata.

Figur 3-2 Illustrasjon av modellsone (svart sirkel) og primærsone (grunnkretser innenfor sirkelen) i Ada



Kilde: Vista Analyse

Trafikantatferd (parameterverdier)

Parameterverdier i datasettet bygges opp med utgangspunkt i tilgjengelig empiri om trafikantatferd (eller med utgangspunkt i egen estimering av parameterverdier) og ved å sette sammen verdier fra ulike typer preferanseundersøkelser. Ved kalibrering av modellen justeres parameterverdiene med sikte på tilpasning mellom beregnet trafikk og observert trafikk. Parameterverdiene kan varieres avhengig av reiselengde for å gjenspeile variasjoner vi finner i preferanseundersøkelser.

Sammensetning av data fra ulike kilder – slik det legges opp til i Ada – gir noen typer usikkerhet som vi ikke får ved estimering av modellparametere på grunnlag av reisevanedata. Dette gjelder blant annet vurdering av kontekst i undersøkelser som benyttes opp mot kontekst i de markeder modellen utvikles for. På den annen side gir kombinasjon av data fra ulike kilder muligheter til å sette sammen resultater fra undersøkelser som avgrenses til en (eller noen få) problemstilling(er) til et komplisert modelluttrykk.

Fordelen med å kombinere preferanseundersøkelser og empiriske data kan uttrykkes som i Train (2003):

> «By combining stated- and revealed-preference data, the advantages of both can be obtained while mitigating the limitations. The stated-preference data provide the needed variations in attributes, while the revealed-preference data ground the predicted shares in reality."

Kalibrering (estimering) av parameterverdier med sikte på å få en modell til å gjenskape «dagens situasjon» vil ikke nødvendigvis gi gode prediksjoner for framtidige situasjoner. Trafikantenes atferd endres over tid, som følge av utvikling i inntekter, preferanser og teknologi.

Transporttilbudet

Transporttilbudet for individuelle transportmidler bygges opp av noder og lenker, mens transporttilbudet for kollektive transportmidler bygges opp av kollektivnoder og rutetabeller for kollektivlinjer. I kollektivnodene kan det også legges inn opplysninger om parkeringskostnad og kvalitet på lokalt kollektivtilbud. Etablering av transporttilbud er nærmere beskrevet i avsnitt 3.4.

3.2 Simulering av valg av transportmiddel og reiserute

Kjernen i Ada består av simulering av enkeltindividers valg av reisemåte for en gitt reisestrekning på et gitt tidspunkt. Tidspunkt for gjennomføring av reisen bestemmes av ønsket avreisetid eller ønsket ankomsttid.

Ved kjøring av modellen deles datasettet inn i relasjoner (forbindelse mellom to modellsoner), og beregninger gjennomføres sekvensielt over alle relasjoner i modellen. Slik modellen er formulert er resultatene på hver relasjon uavhengig av resultatene på alle andre relasjoner.

Simuleringene gjennomføres med utgangspunkt i tilgjengelig kunnskap (datasettets opplysninger) om:

a. fordeling av reiser i tid (ønsket reisetidspunkt) og rom (relasjon; sone til sone)
b. de reisendes preferanser (verdsetting av tidskomponenter mv.).
c. transporttilbud

Innenfor hver relasjon fordeles simuleringene (totalt antall bestemmes av bruker) mellom primærsonepar med utgangspunkt i størrelsen på attraherings- og genereringsvariabler tilknyttet primærsonene, mens reisetidspunkt og den «reisendes» preferanser trekkes fra sannsynlighetsfordelingene. For hvert primærsonepar etableres en valgmengde, dvs. alternative reisemuligheter mellom primærsonene. Valgmengden kan bestå av et stort antall alternative ruter med hvert av transportmidlene som inngår i modellen, jfr. nærmere beskrivelse i avsnitt 3.5.

Valg av transportmiddel bestemmes av egenskaper ved transporttilbudet og de reisendes preferanser. Den enkelte reisende velger det transportmiddel som – ut fra hans preferanser – medfører minst ulempe. Enkelte variable (f.eks. reisekostnader) uttrykkes i modellen direkte i kroner. Andre variable (reisetid, ventetid og forsinkelsestid) inngår på en slik måte at kvanta (f.eks. antall minutter) er likt for alle reisene, mens verdsettingen av de ulike variable varierer mellom de reisende. Variasjonen i verdsetting av tidskomponenter er i modellen representert ved lognormale sannsynlighetsfordelinger mens variasjon i verdsetting av uforklarte variabler er representert ved normale sannsynlighetsfordelinger. Valgmodellen er nærmere beskrevet i avsnitt 3.6.

Ved gjennomføring av et stort antall simuleringer oppnås representativitet i forhold til datagrunnlaget som er tilgjengelig om samlet reiseaktivitet. Resultater fra enkeltsimuleringene lagres og tildeles vekter slik at summen av simuleringsresultatene tilsvarer mengden av reiser på relasjonen i datagrunnlaget.

Ved virkningsberegninger (sammenlikning mellom ulike alternativer) inneholder Ada rutiner for å anslå endringer i samlet antall reiser. Det forutsettes at det eksisterer en sammenheng mellom gjennomsnittlige generaliserte kostnader og antall reiser på en relasjon – og at denne sammenhengen kan uttrykkes ved en elastisitet. Dette er rimelige forutsetninger i en transportmodell.

3.3 Resultatuttak og etterberegninger

A

I tillegg til resultater av enkeltsimuleringene, lagres resultater for ruter i vei- og kollektivnettet for transportmidlene samt aggregerte resultater (reiser fordelt per transportmiddel) under modellkjøringen. Når beregningene er gjennomført for alle relasjoner, fordeles resultatene for vei- og kollektivrutene på linjer og avganger i kollektivnettet og på lenker i veinettet fordelt på tidsintervall.

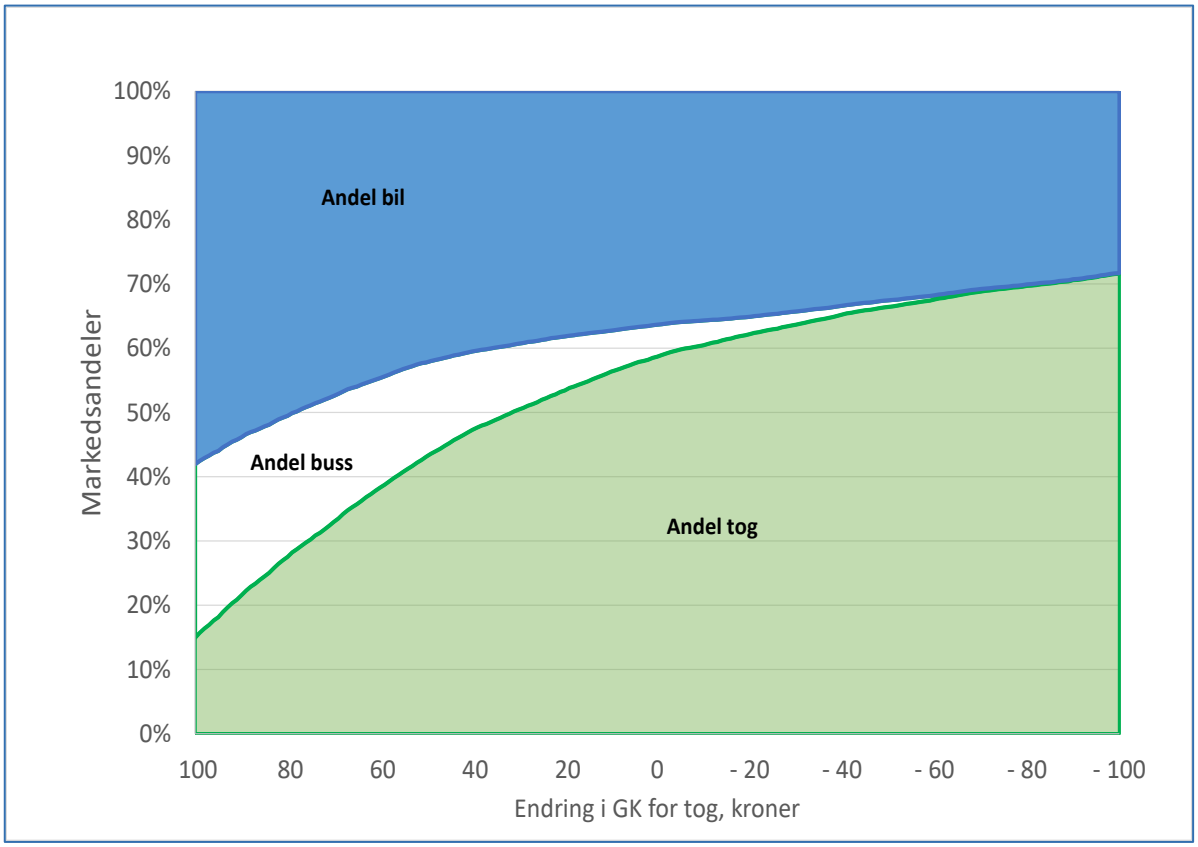
Resultatdatabasen gir muligheter for en rekke ulike resultatuttak, avhengig av formål med beregningene, f.eks.:

- Reisemønster (OD), strekningsbelastning, inntekter og passasjerkilometer per avgang og linje (kollektiv)
- Reisemønster (OD), belastning på lenker i veinettet, bom- og ferjeinntekter, fordelt over døgnet og per døgn
- Beregning av trafikantnytte og operatørnytte, basert på modellparametere og/eller basert på standard verdsettingsforutsetninger.
- Detaljerte analyser, f.eks. knyttet til til- og frabringertransport rundt et kollektivknutepunkt

Resultatuttak kan gjøres som uttak fra en enkelt beregning eller som sammenlikning mellom to beregninger (virkningsberegninger). I tillegg gir samlingen av resultater fra enkeltsimuleringer muligheter til å gjennomføre følsomhetsanalyser for en del variabler uten å gjennomføre nye modellberegninger.

illustrerer hvordan resultatdatabasen kan brukes til å analysere virkninger av endringer i enkeltvariabler, her endring i generaliserte kostnader ved reiser med tog. Endringen i generaliserte kostnader kan. f.eks. være endring i reisekostnader (billettpris).

Figur 3-3 Eksempel på analyse av endringer i enkeltvariabel mot resultatdatabasen



Kilde: Vista Analyse

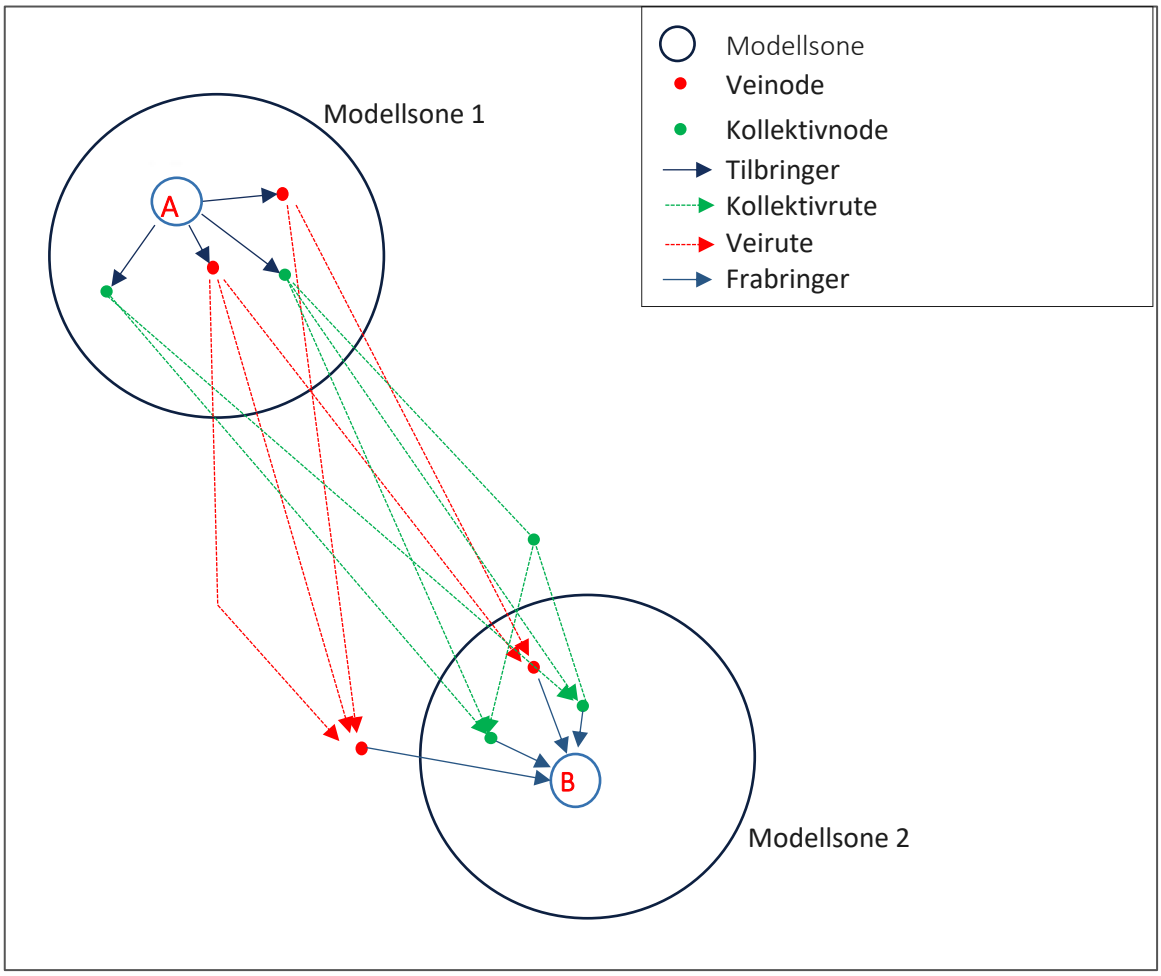
Av figuren går det fram at sammensetningen av overført trafikk til/fra tog vil variere; bussandelen er mer følsom for endringer i generaliserte kostnader for tog enn andelen som reiser med bil. Når billettprisen for togreisen går andelen som benytter buss raskt mot null, dvs. at flere togreiser primært kommer på bekostning av bilreiser. Dersom billettprisen på tog øker, overføres en betydelig andel av reisene til buss. Eksemplet illustrerer at simuleringer, med korrelasjon mellom verdsettingsparametere for ulike transportmidler, gir varierende substitusjonsgrad mellom transportmidlene, avhengig av retning og størrelse på endringen. I LOGIT-modeller er det ingen korrelasjon mellom parameterverdiene, dette gir konstant substitusjonsgrad mellom transportmidlene (like stor andel overføres til/fra buss og bil uavhengig av retning og størrelse på endringen i billettpris).

Tilsvarende beregninger kan gjøres for andre variabler, blant annet endringer i reisekostnader, endringer i reisetid og endringer i ulike verdsettingsparametere. Det kan også enkelt utvikles metodikk for å belyse virkninger av endringer i andre variable, f.eks. bompengenivå, som gjør det mulig å beregne effekter av en rekke ulike nivåer uten nye modellberegninger.

3.4 Transporttilbudet i modellen

Oppbygging av tilbudet

Figur 3-4 Transporttilbudet i modellen, reiser fra primærsone A i Modellsone 1 til primærsone B i Modellsone 2



Kilde: Vista Analyse

Figur 3-4 gir en skjematisk oversikt over oppbygging av reisealternativer i modellen. En relasjon (et reisemarked) er en forbindelse mellom to modellsoner. Hver modellsone består av et antall primærsoner (f.eks. grunnkretser).

Av figuren går det fram at transporttilbudet settes sammen av tre hovedelementer:

a) Tilbringerreise
b) Hovedreise (som kan gjennomføres med en bilrute eller en kollektivrute)
c) Frabringerreise

Figuren viser et eksempel med to transportmidler (et individuelt og et kollektivt) og med tilknytning til to veinoder og to kollektivnoder ved primærnode A og primærnode B. Modellen kan inneholde flere transportmidler og det kan velges å identifisere ruter via mer enn 2 noder pr. primærsone. Mellom par av vei- og kollektivnoder kan det også være flere ulike ruter.

Hovedreisen

I nettanalysen etableres ruter mellom alle nodepar i veinettet med utgangspunkt i data om lenker i veinettet. Lenker inneholder opplysninger om avstand, reisetid (kan variere over døgnet) og reisekostnad (kan variere over døgnet) på en veistrekning. Veistrekningene vil oftest være mellom to kryss. Veirutene kan bygges opp etter ulike søkekriterier (kortest avstand, kortest reisetid m.fl.) og døgnet deles inn i «avganger» for å fange opp variasjoner i tidsbruk og kostnader.

Veiruter kan inneholde ferjestrekninger. I disse tilfellene blir avgangstidene i rutene bindende – som for kollektivtrafikk. Uten ferjestrekning defineres «avgangstidene» i veirutene et skift i tidsbruk eller kostnader ved valg av ruten.

Kollektivruter mellom nodepar (holdeplasser/stasjoner) bygges opp med utgangspunkt i rutetabeller for alle linjer som er lagt inn i modellen. Det kan være flere kollektivruter mellom hvert nodepar dersom det er (kombinasjoner av) linjer med ulik trasé og/eller ulikt antall overganger som knytter de to nodene sammen.

Kollektiv- og veirutene inneholder et antall avganger over dagen definert ved avgangs- og ankomsttid. Videre er det – for hver avgang – informasjon om reisetid, antall overganger, byttetid og reisekostnader.

Dersom reisen gjennomføres med bil, beregnes parkeringskostnader ved reisemål (primærsone B). Parkeringskostnader kan variere over døgnet, avhengig av ankomsttid til sonen.

Tilbringer- og frabringerreisen

I modellen er det mulig å definere flere ulike tilbringer- og frabringertransportmidler som karakteriseres ved kostnader (konstant + kroner pr. km) og tidsbruk (konstant + tid pr. km). Avstand fra primærnode til nærmeste vei- og kollektivnoder beregnes ved avstand i luftlinje + et konstant og et multiplikativt tillegg.

Dersom hovedtransportmiddel er individuelt transportmiddel (bil), forutsettes, modellteknisk, samme transportmiddel benyttet også på tilbringer- og frabringerdelen av reisen.

Dersom bil benyttes som tilbringertransport til kollektive transportmidler, beregnes parkeringskostnader ved kollektivnodene. Kostnadene kan variere avhengig av ankomsttid til kollektivnoden.

For kollektive tilbringertransportmidler beregnes ventetid på grunnlag av frekvens i lokalt kollektivtilbud i primærnode A. Ventetid kan variere avhengig av ankomsttid til kollektivnoden.

For tilbringertransportmidlene i modellen er det mulig å legge inn ulike kostnader ved til- og frabringerreiser, f.eks. for å fange opp at egen bil er et alternativ ved tilbringerreiser mens taxi – med tilsvarende egenskaper, men høyere kostnader – er et alternativ ved frabringerreiser. Det er også mulig å blokkere tilgang til «tilbringertransportmidler» ved frabringerreiser, f.eks. for sykkel. Modellverktøyet gir derfor muligheter for å reflektere forskjeller i bruk av tilbringertransportmidler mellom bosted og reisemål som kan knyttes til at tilgangen til – og vilkår for bruk av - ulike tilbringertransportmidler varierer mellom bosted og reisemål.

3.5 Valgmengden

Kollektivtilbudet på en relasjon mellom to primærnoder er definert mellom kollektivnoder knyttet til primærnodene, mens transporttilbudet på vei tilsvarende er definert mellom veinoder knyttet til primærnodene.

Mellom hvert nodepar etableres en eller flere kollektivruter som bygges opp på grunnlag av rutetabeller for kollektivlinjene i modellområde. En rute er definert ved en gitt trasé og et gitt antall overganger.

Mellom kollektivnode og primærnode består transporttilbudet av ulike tilbringertransportmidler. Antallet tilbringertransportmidler kan variere mellom noden reisen er generert fra og noden reisen attraheres til.

Dersom vi definerer:

k_i^A kollektivnoder knyttet til primærnode A, transportmiddel i
k_i^B kollektivnoder knyttet til primærnode B, transportmiddel i
t^A antall tilbringertransportmidler primærnode A
t^B antall tilbringertransportmidler primærnode B
f_i^{AB} antall ulike ruter mellom k_i^A og k_i^B.

kan valgmengden for hvert kollektivtransportmiddel i simuleringene uttrykkes ved:

(i) $$V_i^{KOLL} = \sum_i \left(\left(k_i^A * t^A \right) * \left(k_i^B * t^B \right) * f_i^{AB} \right)$$

Antall tilbringertransportmidler inngår i modellspesifikasjonen, mens (maksimalt) antall kollektivnoder som knyttes til hver primærnode bestemmes ved gjennomføringer av beregninger. Med (eksempelvis) 2 kollektivnoder knyttet til primærnode A, 3 kollektivnoder knyttet til primærnode B og 3 alternative tilbringertransportmidler gir dette 54 ulike alternativer for hvert kollektive transportmiddel i hver simulering på relasjonen. Det kan også være flere ulike ruter mellom hvert par av kollektivnoder. Dette øker valgmengden ytterligere.

For reiser med bil inngår ikke mulighet for valg av tilbringertransportmiddel, til gjengjeld er det inntil 5 ulike ruter (korteste avstand, korteste reisetid i ubelastet nett, korteste reisetid i belastet nett og ruter uten bompenger/ferjekostnader) mellom hvert veinodepar.

Dersom vi definerer:

v_i^A antall veinoder knyttet til primærnode A, transportmiddel i
v_i^B antall veinoder knyttet til primærnode B, transportmiddel i
f_i^{AB} antall ulike ruter mellom v_i^A og v_i^B.

kan valgmengden for bil i simuleringene uttrykkes ved:

(ii) $$V_i^{BIL} = \sum_i (v_i^A * v_i^B * f_i^{AB})$$

Med en begrensning på tilkobling til 3 veinoder i knyttet til primærnode A og primærnode B og inntil 5 ulike ruter gir dette 9-45 alternative ruter med bil.

Tre kriterier må være oppfylt for at valgmengden i modeller med diskrete valg skal produsere resultater som gjenspeiler markedet som analyseres (Train, 2003):

1. Alternativene må være gjensidig utelukkende
2. Alle mulige alternativ må være inkludert

3. Antall alternativ må være endelig

Det første og det siste kriteriet oppfylles i Ada, mens det andre kriteriet oppfylles delvis. I mange transportmodeller oppfylles det første kriteriet gjennom å slå sammen flere alternativer med liknende karakteristika, f.eks. ved at alternative ruter for bil vektes sammen til et bilalternativ eller ved at kollektivruter av ulike typer (tog, buss, trikk) og/eller med ulike traséer vektes sammen til et kollektivalternativ. I Ada er alle alternativer unike, dvs. at ulike vei- og kollektivruter er selvstendige alternativ.

Det andre kriteriet kan vanskelig oppfylles når vi forutsetter at hvert alternativ skal være unikt. I et transportnett vil det ofte være et høyt antall mulige ruter som ikke identifiseres ut fra de kriteriene vi legger til grunn. Betydningen av å utelate slike ruter fra modellen vurderes å ha liten betydning for modellens egenskaper. En viktigere begrensning i Ada er at alternativene å la være å reise eller å reise til et annet sted ikke inngår i valgmengden i simuleringsmodellen. Valgene som simuleres kan derfor karakteriseres som betinget. Beslutningen om reise / ikke reise håndteres på aggregert nivå gjennom vekting av resultater fra simuleringene. Dette omtales nærmere i vedlegg C.

3.6 Valgmodellen

Vi tar utgangspunkt i at det gjennomføres et antall reiser mellom A og B. Med vanlige nytte-teoretiske forutsetninger impliserer det at hver av reisene bidrar til økt netto nytte for de trafikantene som gjennomfører reisene. Vi kan også legge til grunn at transportmiddelet trafikanten velger er det transportmiddelet som – blant alternativene – gir størst økning i netto nytte. Dette er det transportmiddelet som gir trafikanten de laveste generaliserte kostnadene. I Ada består reisene av en tilbringerreise og en frabringerreise i tillegg til hovedreisen – og minimeringen av generaliserte kostnader (i) gjennomføres i flere trinn. Rekkefølgen på trinnene avhenger av om minimeringen av GK baseres på ønsket avreisetidspunkt eller ønsket ankomsttidspunkt, noe som forklares nedenfor.

Generaliserte kostnader for hele reisen kan uttrykkes ved:

(i) $$GK_j = \sum_i X_{ij} * V_{ij} + K_j + GK_M^T + GK_N^F$$

hvor $\sum_i X_{ij} * V_{ij} + K_j$ representerer hovedreisen (mellom transportnoder) og GK_M^T og GK_N^F er GK for valgt tilbringer- og valgt frabringertransportmiddel (mellom primærnoder og transportnoder), se (i) og (ii) under.

Variablene i uttrykket er definert som følger:

X_{ij} er mengden av variabel nr. *i* for transportmiddel nr. *j* (reisetid, overgangstid, tilbringertid, ventetid mv.)

V_{ij} er trafikantens verdsetting av variabel nr. *i* for transportmiddel nr. *j* – som uttrykkes i kroner pr. enhet av variabelen X_{ij}.

K_j er et stokastisk element som inngår i den reisendes vurdering av transportmiddel nr. j. K_j representerer faktorer som ikke fanges opp i modellspesifikasjonen for øvrig, men som påvirker trafikantens vurdering av alternativene.

Generaliserte kostnader for til- og frabringerreisene finnes gjennom minimering av uttrykkene:

(i) $$GK_m^T = \sum_i X_{im}^T * V_{im}^T + K_m^T$$

(ii) $$GK_n^F = \sum_i X_{in}^F * V_{in}^F + K_n^F$$

hvor:

X_{im}^{T} er mengden av variabel nr. *i* for tilbringertransportmiddel nr. *m*

X_{in}^{F} er mengden av variabel nr. *i* for frabringertransportmiddel nr. *n*

V_{im}^{T} og V_{in}^{F} er tilhørende verdsettingsvariabler og

K_{m}^{T} og K_{n}^{F} er stokastiske elementer for til- og frabringertransportmidlene

Som nevnt over gjennomføres minimeringen av generaliserte kostnader trinnvis – og rekkefølgen på trinnene avhenger av om avgangs- eller ankomsttidspunkt framstår som bindende. Arbeidsreiser er eksempel på reise hvor ankomsttidspunkt kan ansees som bindende ved reise til arbeid, mens avgangstidspunkt kan ansees som bindende ved reise fra arbeid.[7]

Hvis ankomsttidspunkt er bindende, er rekkefølgen:

1. Finn beste frabringertransportmiddel for alle alternative ruter og ankomsttider med hovedtransportmiddel basert på hovedtransportmidlenes ankomsttidspunkt til transportnode ved reisemål og transporttilbud mellom transportnode og primærnode (reisemål).
2. Finn beste tilbringertransportmiddel basert på avgangstider fra transportnode ved utgangspunkt for reisen (basert på avganger identifisert i pkt. 1) og transporttilbud mellom primærnode (start for reisen) og transportnoden.
3. Minimer GK for reisekjeden.

Hvis avreisetidspunkt er bindende, byttes rekkefølgen på pkt. 1 og pkt. 2. Begrunnelsen for dette er at det i modellen beregnes ventetid i ankomstnoden når ankomsttidspunkt er bindende, mens det beregnes ventetid i avreisenoden når avreisetidspunkt er bindene. Metoden sikrer at avveininger mellom ventetid, tilbringertid og valg av avgang inkluderes ved minimering av GK. Eksempler på dette kan være reisende som velger å benytte langsomme tilbringertransportmidler fordi bruk av raske tilbringertransportmidler gir lengre ventetid ved tilbringertransportmidler – eller at raske tilbringertransportmidler benyttes fordi dette gir tilgang til (senere) avganger med hovedtransportmiddelet.

For variabler som kvantifiseres i kroner – f.eks. reisekostnader – er verdsettingsvariabelen $V_{ij} = 1$. For variabler som kvantifiseres i form av tid, er verdsettingen (V_{ij}) representert ved en sannsynlighetsfordeling. Denne kan skrives:

(iii) $$V_{ij} = V(\mu_{ij}, \sigma_{ij})$$

hvor μ_{ij} og σ_{ij} uttrykker forventning og standardavvik i fordelingen for variabel nr. **i** for transportmiddel nr **j**. I modellen er verdsettingsvariablene representert ved lognormale sannsynlighetsfordelinger. Undersøkelser av trafikanters verdsetting av reisetid og andre tidskomponenter viser ofte en høyreskjev fordeling, som kan tilnærmes ved en lognormal fordeling. Denne fordelingen er derfor lagt til grunn for alle fordelinger av tidskostnader i modellen.

I Ada legges sannsynlighetsfordelingene ($V_{ij} = V(\mu_{ij}, \sigma_{ij})$) inn som eksogene variabler, dvs. at kunnskapen om funksjonsform og verdier baseres på andre analyser / estimeringsarbeider. I modellen er

[7] Ved videre utvikling av modellverktøyet bør det vurderes å erstatte absolutte bindinger knyttet til avgangs- og ankomsttider med kostnader knyttet både til ankomst/avgang før og etter ønsket tidspunkt. Dette er særlig aktuelt ved inkludering av punktlighet (jfr. avsnitt 4.3.2) eller tur-retur reiser (jfr. avsnitt 4.3.3) i valgmodellen.

det mulig å variere både forventningsverdi (μ_{ij}) og standardavvik (σ_{ij}) etter reiselengde for å reflektere systematiske forskjeller. Tilsvarende funksjonalitet er også etablert i InterCity-modellen[8].

Trafikantenes verdsetting av ulike variable påvirkes av flere elementer – f.eks. påvirkes verdsettingen av reisetid av faktorer som

- den reisendes inntekt,
- transportmidlenes komfort (mulighet til å anvende reisetiden til noe nyttig) og
- stramheten i den reisendes totale "tidsbudsjett" (høyere betalingsvillighet for å redusere reisetid ved reiser som gjennomføres ofte).

Enkelte faktorer (f.eks. inntektsnivå) påvirker alle transportmidler; undersøkelser viser klare sammenhenger mellom økt inntektsnivå og høyere betalingsvillighet for redusert reisetid. Vi kan derfor vente at det er korrelasjon mellom verdsettingsfunksjonene for ulike transportmidler. Korrelasjonsmatriser inngår som eksogene variabler i modellen[9], med tre verdsettingsfunksjoner inngår korrelasjon mellom 1 og 2, mellom 1 og 3 og mellom 2 og 3 som vist i (iv):

(iv) $$\begin{matrix} corr_{12} & \\ corr_{13} & corr_{23} \end{matrix}$$

Andre variabler som påvirker verdsettingen av endringer i tidsbruk er mer spesifikt knyttet til egenskaper ved ulike transportmidler – og variasjoner i trafikantenes vurdering av disse egenskapene. Dette dreier seg om forhold som tilgang til sitteplass, sitteplasskomfort, muligheter for aktivitet, sikkerhet, fleksibilitet med mer. Transportmidler med omtrent like egenskaper verdsettes omtrent likt av den samme trafikanten, mens transportmidler med svært ulike egenskaper også kan verdsettes ulikt.

Korrelasjonen mellom verdsettingsfunksjonene vil derfor være sterkere mellom transportmidler med omtrent like egenskaper (f.eks. mellom ulike togprodukter) enn mellom transportmidler med forskjellige egenskaper (f.eks. mellom bil og kollektive transportmidler og mellom transportmidler med store forskjeller i pris og/eller reisetid – som bil vs. fly).

Når reisemiddelvalg simuleres, kan vi utnytte kunnskap om at trafikantenes verdsetting av (f.eks.) reisetid med et transportmiddel er korrelert med verdsettingen av reisetid med andre transportmidler. I modellen representeres avhengighetene av korrelasjonsmatriser. Ved simulering dekomponeres[10] korrelasjonsmatrisene, slik at simuleringene gir oss et «utvalg» som både reflekterer variansen for den enkelte variable og kovariansen mellom ulike variabler.

Stokastiske restledd, variabelen K_j representeres også ved sannsynlighetsfordelinger i modellen:

(v) $$K_j = K(\mu_j, \sigma_j)$$

[8] *I rapporten «Tidsverdi som kontinuerlig funksjon av reisedistanse» (TØI, TØI rapport 1778/2020) etableres kontinuerlige funksjoner for sammenhenger mellom tidsverdi og distanse. Disse anbefales tatt i bruk ved nytteberegninger basert på regionale transportmodeller. I rapporten omtales ikke bruk av kontinuerlige funksjoner i transportmodellene, vi finner heller ingen drøfting av alternative funksjonsformer.*

[9] Ved å sette korrelasjonsmatrisen til null for alle kombinasjoner, får modellen egenskapet som i større grad tilsvarer LOGIT-modellers egenskaper.

[10] Choleski-dekomposisjon, se https://en.wikipedia.org/wiki/Cholesky_decomposition

Restleddene er ment å fange opp forhold som ikke fanges opp gjennom modellformulering (manglende variabler, feilspesifiserte variabler) og svakheter ved modellens datagrunnlag. I utgangspunktet har vi derfor mindre kunnskap om hvordan størrelsen på restleddene varierer mellom grupper av reisende. Med dette utgangspunktet er det nærliggende å legge til grunn at variasjon i størrelsen på leddene er normalfordelte.

Også for disse leddene er det mulig å legge inn korrelasjon mellom ulike transportmidler. Simuleringene av reisemiddelvalg gjennomføres slik at varians for enkeltvariabler og kovarians mellom variabler for ulike transportmidler blir representativ.

Tabell 3.1 og Tabell 3.2 gir en oversikt over variabler som inngår i uttrykket for beregning av generaliserte kostnader for henholdsvis individuelle og kollektive transportmidler.

Tabell 3.1 Generaliserte kostnader, reiser med individuelle transportmidler (bil)

Element	Verdsetting	Kommentar
Reisetid	Reisetidsverdi (kroner/time)	Inkludert distanseavhengig til- og frabringertid
Forsinkelsestid	Forsinkelsestidsverdi (kroner/time)	Verdsettes som reisetid (eller med egen variabel)
Omstigningstid	Byttetidsverdi (kroner/time)	Inngår når relasjonen inneholder ferje
Ventetid	Ventetidsverdi (kroner/time)	Inngår når relasjonen inneholder ferje
Tilbringertid[11]	Reisetidsverdi (kroner/time)	Konstant tilbringertid, regnet en gang
Reisekost 1	Kroner	Reisekostnad mellom modellsoner (relasjon)
Reisekost 2	Kroner	Kilometeravhengig (fra parametersett) Inkl. distanseavhengig til- og frabringerkostnad
Bom/ferjekostnader	Kroner	Fra transportnett
Parkeringskostnader	Kroner	Ved reisemål
Tilbringerkostnader	Kroner	Konstant tilbringerkost, genereringssone
Forsinkelseskostnader	Kroner	Tapt nytte ved forsinkelser
GK-tillegg	Kroner	Stokastisk tillegg på generaliserte kostnader

Kilde: Vista Analyse

Overgangstid / verdsetting av overgangstid er valgfri variabel. Når overgangstid ikke inngår som egen variabel inkluderes overgangstiden i ventetid.

Forsinkelsestid/ verdsetting av forsinkelsestid er også inkludert som valgfri variabel i modellen, men er foreløpig bare delvis implementert for bilreiser i modellen. Fra veinettet beregnes reisetider med/uten kø. Dette er et mulig utgangspunkt for å inkludere forsinkelser. For kollektivtrafikk er det nødvendig å etablere rutiner for innlesing av opplysninger om forsinkelser.

[11] Tilbringertid inkluderes i reisetiden

Tabell 3.2 Generaliserte kostnader, reiser med kollektive transportmidler

Element	Verdsetting	Kommentar
Element	Verdsetting	Kommentar
Reisetid	Reisetidsverdi (kroner/time)	Mellom transportnoder, fra rutetabeller.
Omstigningstid	Byttetidsverdi (kroner/time)	Verdsettes som reisetid uten egen variabel
Ventetid	Ventetidsverdi (kroner/time)	Ventetid ved reisemål (fra ankomst med tilbringer transportmiddel til ønsket ankomsttid)
Tilbringertid	Tilbringertidsverdi (kr/time)	
Frabringertid	Tilbringertidsverdi (kr/time)	
Antall omstigninger	Byttetidsverdi (kroner/time)	Minutter pr. omstigning i parametersett
Reisekost 1	Kroner	Fra relasjonsdata
Reisekost 2	Kroner	Kostnader hovedreise (kilometeravhengig)
Parkeringskostnader	Kroner	Parkering ved stasjon (tilbringer med bil)
Frabringerkostnader	Kroner	Konstant + kilometeravhengig kostnad
Tilbringerkostnader	Kroner	Konstant + kilometeravhengig kostnad
GK-tillegg, tilbringereise	Kroner	Stokastisk tillegg

Kilde: Vista Analyse

3.7 Beregningsprosedyren

I dette kapitlet gis en kortfattet beskrivelse av beregningsprosedyren i Ada.

Det er tre alternativer for gjennomføring av beregningsprosedyren:

1. Kalibreringsberegninger
2. Referanseberegninger
3. Virkningsberegninger

Kalibreringsberegninger er beregninger som gjennomføres med sikte på å identifisere paramaterverdier som gir godt samsvar mellom modellberegninger og datagrunnlag/empiri. I kalibreringsberegningene etableres vekter (jfr. Vedlegg C) for hvert transportmiddel på hver relasjon i modellen. I tilfeller hvor vi kjenner fordelingen mellom ulike transportmidler vil observerte forskjeller i vekter mellom ulike transportmidler gi indikasjoner på om valgte parameterverdier er egnet til å beskrive markedet.

Referanseberegninger er beregninger som gjennomføres med utgangspunkt i vekting av enkeltsimuleringer fra kalibreringsberegninger, men hvor beregningsår, parametersett og transporttilbud kan avvike fra datasettet som er brukt ved kalibreringsberegninger. Poenget med Referanseberegninger er å lage et utgangspunkt for å analysere konsekvenser av et transporttiltak som skal gjennomføres på et tidspunkt fram i tid, hvor vi inkluderer (beregnede) virkninger knyttet til inntektsutvikling, befolkningsutvikling mv. samt virkninger av andre tiltak i transportnettet som vil være gjennomført før tidspunktet for åpning av det prosjektet vi ønsker å analysere.

Virkningsberegninger gjennomføres for å belyse konsekvenser av tiltak i transportnettet, og sammenliknes med resultatene av en Referanseberegning. Virkningsberegninger gjennomføres som en reberegning av simuleringene som inngår i resultatdatabasen fra en Referanseberegning, dvs. at opplysninger om reisetidspunkt og -strekning leses inn fra referanseberegningen, mens parameterverdier og/eller egenskaper ved transporttilbudet kan endres.

3.7.1 Klargjøring av modell

Modellberegninger gjennomføres sekvensielt over alle relasjoner i modellen[12]. Før beregninger med et datasett kan starte, kan modellbruker velge:

1. Type beregning (kalibrering, referanse eller virkning)
2. Beregningsår (ikke ved kalibreringsberegning)
3. Innstillinger for nettanalyse (etablering av ruter i kollektiv- og veinett; antall iterasjoner i søk etter overgangsmuligheter, maksimalt antall transportnoder pr. primærsone, maksimal avstand fra transportnode til primærsone, søkekriterier for ruter i veinettet (tid, avstand, kostnad), påslag (på luftlinjeavstand) ved beregning av avstand mellom primærsoner og transportnoder etc. (kun ved kalibreringsberegning)
4. Antall simuleringer pr. reisehensikt på hver relasjon (ikke ved virkningsberegning, hvor resultatdatasettet etablert i referanseberegning leses inn på nytt)

Når beregningene startes gjennomføres først rutiner som er felles for alle relasjoner i modellen. I tillegg til innlesing av datagrunnlag fra database til strukturvariabler, inkluderer dette:

1. Beregning av den enkelte primærsones andel av genererte og attraherte reiser innenfor en modellsone (gjøres for hver reisehensikt)
2. Nettanalyse;
    a. Etablering av veiruter mellom alle noder i veinett for individuelle transportmidler
    b. Etablering av kollektivruter mellom alle noder i kollektivnett for kollektive transportmidler.

Dersom det er flere perioder (døgn) i modellen gjentas etablering av vei- og kollektivruter for hver periode.

3.7.2 Gjennomføring av beregninger på en relasjon

En modell kan inneholde flere tidsperioder og flere reisehensikter. Beregningene gjennomføres sekvensielt over perioder. Nedenfor beskrives beregningsprosedyre for gitt periode.

1. Fordel totalt antall simuleringer på par av primærsoner og fordel simuleringene på reiseretning.
2. Beregn avstander fra alle primærsoner til nærliggende kollektiv- og veinoder
3. Etabler parametersett tilpasset reiselengde på relasjonen
4. Identifiser reisemuligheter over perioden (døgnet) mellom alle par av primærsoner som tildeles simuleringer.
5. Gjennomfør det bestemte antall simuleringer på hvert primærsonepar. For hver simulering:
    a. Gjennomfør trekning fra fordelinger for å tildele den «reisendes» egenskaper
    b. Gjennomfør trekning av ønsket ankomst eller avgangstid basert på sannsynlighetsfordelinger.

[12]

   c. Identifiser avgangsnummer i kollektivruter gitt ulike til- og frabringertransportmidler og gjennomfør delberegning for å finne beste kombinasjon av avgangsnummer, til- og frabringertransportmidler
   d. Identifiser avgangsnummer i veiruter (her er til- og frabringertransportmiddel det samme som hovedtransportmiddel)
   e. Finn ruten som gir lavest generaliserte kostnader
6. Beregn vekter for hver simulering
7. Oppdater resultatvariabler som inneholder resultater for mer enn en relasjon (f.eks. kollektivruter og veiruter)
8. Skriv resultater av enkeltsimuleringer på relasjonen til resultatdatabase

3.7.3 Avsluttende beregninger

Når beregninger for alle relasjoner er fullført, gjennomføres avsluttende beregninger knyttet til variabler som inneholder resultater fra mer enn en relasjon. Sammen med aggregerte resultater skrives disse ut til resultatdatabasen.

1. Trafikk i veirutene fordeles på lenker (og tidsintervall) i veinettet
2. Trafikk i kollektivruter fordeles på linjer og avganger i kollektivtilbudet
3. Trafikk på veilenker, i kollektivlinjer samt vei- og kollektivruter skrives til resultatdatabase
4. Aggregerte resultater (pr. relasjon, pr. modellsone etc.) skrives til resultatdatabase

4 Bruk og videreutvikling

Foregående kapitler inneholder en gjennomgang av eksisterende, operative, versjon av Ada. Verktøyet er egnet til å belyse en rekke problemstillinger på en god måte. I tillegg åpner modellstrukturen, med disaggregert valg av transportmiddel og reiserute, for en rekke muligheter til å utvikle verktøyet videre og utvide bruksområdet. I avsnitt 4.1 gjennomgår vi et utvalg bruksområder og peker på muligheter og begrensinger som modellverktøyet gir.

I avsnitt 4.2 gjennomgås pågående utviklingsarbeid, som vil bli implementert i modellverktøyet i løpet av 2022. I avsnitt 4.3 ser vi på et utvalg muligheter for videre utvikling av modellverktøyet.

4.1 Bruksområder

4.1.1 Konkurranseflater i regionale transportmarkeder

Hovedfokus i Ada er knyttet til valg av transportmiddel og reiserute for motoriserte transportmidler. Modellverktøyet er derfor særlig egnet til å analysere virkninger av tiltak hvor målet, eller en viktig virkning av tiltaket, er å påvirke fordelingen av reiser mellom ulike transportmidler. Eksempler på dette er:

- Infrastrukturinvesteringer i jernbanenettet
- Veiprosjekter (bortsett fra prosjekter i områder med omfattende køproblematikk)
- Større tilbudsendringer, jernbane- eller regionale busslinjer

Reisemønster i Ada baseres på empiri, mens det i RTM/NTM modelleres. Modellerte reisemønstre vil, i en del tilfeller, avvike betydelig fra faktiske reisemønstre. Når dette er tilfelle, se eksempel i Vedlegg B, vil ikke beregninger av effekter av tiltak i transportnettet bli riktige, og sikrere resultater kan oppnås ved å benytte modeller som tar utgangspunkt i empiriske reisemønstre.

4.1.2 Konkurranse mellom ulike kollektive transportmidler

Markeder med konkurranse mellom ulike kollektivtransportmidler er et område hvor Ada har potensial for mer presise beregninger sammenliknet med tradisjonelle trafikkberegningsmodeller. Eksempler på problemstillinger:

- Tilbringertrafikken til lufthavner (f.eks. Flytoget/andre tog/ekspressbuss til/fra Oslo Lufthavn)
- Ekspressbuss vs. regiontog (InterCity-markedet m.fl.)
- Konkurranse om trafikkgrunnlag mellom ulike lufthavner[13]

Både ulik substitusjonsgrad (knyttet til korrelasjon i preferanser) og tidsoppløsning av transporttilbudet er viktige elementer for bedre beregninger knyttet til konkurranseflater mellom ulike kollektive transportmidler.

[13] Forutsetter at reisekjeder med ulike transportmidler er implementert, jfr. 4.2.2.

4.1.3 Bompenger og ferjeavløsning

Innenfor veitrafikk vil Ada være særlig egnet til å belyse:

- konsekvenser av endringer i ferjetilbud og ferjeavløsningsprosjekter
- virkninger av endringer i brukerbetaling (bompengeanalyser, veiprising).

Tidsoppløsning av transporttilbudet, hvor flere alternative ruter (med/uten bompenger, med/uten ferje) inngås i valg av transportmiddel og reiserute gir, sammen med variasjon i preferanser, realistiske valg av transportmiddel og reiserute.

Ada er også tilrettelagt for å gjennomføre følsomhetsanalyser mot resultatdatabasen med inkrementelle endringer av enkeltvariabler. For bompengeprosjekter kan denne funksjonaliteten benyttes til detaljerte analyser av virkninger av ulike bompengesatser uten at det gjøres nye modellberegninger.

Bompengeprosjekter innebærer ofte en betydelig heving av kvaliteten på veinettet. Vi arbeider med å implementere en komfort-/sikkerhetsfaktor i modellverktøyet (jfr. avsnitt 4.2.1). Dette vil kunne gi en ytterligere forbedring av Adas evne til å predikere trafikale virkninger av bompengeprosjekter.

Ferjeruter håndteres i Ada tilsvarende som kollektivlinjer; det er faktiske rutetabeller som ligger til grunn for valgene i modellen – og alternative reiseruter uten ferje inngår i valgmulighetene i simuleringene. Dette gir langt mer realistiske valgsituasjoner sammenliknet med det som etableres i modeller basert på gjennomsnittlige transporttilbud.

4.1.4 Linjenettanalyser for kollektivtrafikk

Med detaljert fordeling av reiser på linjer og avganger i kollektivnettet, og mulighet til å legge inn ulike preferanser for ulike kollektivtransportmidler (buss, trikk, bane, tog) gir Ada mulighet for å analysere virkninger (trafikantnytte, endret belastning i linjer mv.) når det vurderes endringer i kollektivtilbudet.

Aktuelle tiltak Ada vil være egnet til å analysere inkluderer endringer i trasé- og linjeføring, endringer i avgangshyppighet og rutetid, bytte av kollektivtransportmiddel (f.eks. fra buss til bane).

Linjenettsanalyser for lokale kollektivtilbud forutsetter at gode kunnskaper om dagens trafikkstrømmer er etablert gjennom reisevaneundersøkelser og/eller innsamling av trafikkdata fra transportmidlene.

4.1.5 Begrensninger

I foregående avsnitt har vi pekt på aktuelle bruksområder for Ada. Det kan også være grunn til å peke på områder hvor modellen vurderes lite egnet. Dette inkluderer:

- Tiltak i veinettet for å redusere overbelastning (køproblematikk)
- Tiltak som hovedsakelig er rettet inn mot korte reiser (gang/sykkel)

Det første er knyttet til at beregnede endringer i reisestrømmer modellverktøyet (foreløpig) ikke påvirker kvaliteten på transporttilbudet (ingen iterasjon fram til likevekt). Det andre har sammenheng med at utforming av modellverktøyet og spesifikasjon av valgmodellen primært er rettet inn mot motoriserte reiser.

4.2 Pågående utviklingsarbeid

Vi arbeider med testing og utvikling av modellverktøyet. I tillegg til å utvikle analysemuligheter basert på resultatdatabasene, er utviklingsarbeidet rettes inn mot å:

- introdusere nye variabler i (raffinere) modellspesifikasjonen,
- øke muligheten for utnyttelse av funksjonalitet som allerede er etablert i modellen.

Komfort, sikkerhet/trygghet, trengsel og punktlighet/regularitet er eksempler på variabler som kan inkluderes i modellverktøyet. Før nye variabler introduseres, er det nødvendig å ta stilling til:

- om disse kan/bør kvantifiseres og verdsettes (modellspesifikasjon som reflekterer trafikantatferd), inkludert om verdsetting av variabelen er uavhengig av eller korrelert med eksisterende verdsettingsvariabler (parametere) i modellen.
- om det finnes/er mulig å få tilgang til data som kan gi en realistisk beskrivelse av status for variabelen i dagens situasjon

Dersom vi (foreløpig) vurderer at det ikke er grunnlag for å inkludere variabelen i valgmodellen, kan et alternativ være å inkludere variabelen ved beregning av nytte av tiltak.

4.2.1 Kjørekomfort / sikkerhet

Inspirert av rapporten «Verdsetting av kjørekomfort for ulike veityper» (Transportøkonomisk Institutt, TØI rapport 1774/2020) har vi satt i gang et arbeid med å inkludere kjørekomfort/opplevd usikkerhet i valgmodellen i Ada. Implementering baseres på en forutsetning om at ulik kjørekomfort påvirker verdsettingen av reisetid, og at det ikke er systematiske forskjeller i verdsettingen mellom ulike trafikantgrupper. Nivå på kjørekomfort/usikkerhet kan dermed implementeres som en multiplikator på reisetiden. TØIs arbeid var innrettet mot kjørekomfort på vei. Vi antar at kjørekomfort, tilsvarende, kan variere også for kollektive transportmidler og inkluderer komfort/sikkerhetselement også for kollektivlinjer.

Modellteknisk innebærer endringen at et komfortelement inkluderes på alle lenker i veinettet og for alle linjer i kollektivnettet. Videre må nettanalysen tilpasses for å inkludere «mest komfortable» rute i tillegg til de muligheter som er inkludert i eksisterende versjon (korteste rute, raskeste rute i ubelastet nett, raskeste rute i belastet nett og rimeligste rute). Til slutt må komfortelementet inkluderes ved beregning av generaliserte kostnader for de ulike mulighetene trafikantene står overfor i valgmodellen.

Transportøkonomisk Institutt (TØI rapport 1774/2020) dokumenterer et arbeid gjennomført på oppdrag for Nye Veier og Statens vegvesen hvor formålet var å utvikle en metode og anbefale konkrete verdier som kan brukes til å inkludere denne verdien i samfunnsøkonomiske analyser av veiprosjekter. Kjørekomfort defineres teoretisk som et samlebegrep som både omfatter nytte (ulemper) knyttet til bruk av reisetiden og opplevd utrygghet. Metodisk beregnes verdsetting av kjøretiden på ulike typer veier som en faktor multiplisert med trafikantenes verdsetting av reisetid.

I arbeidet omtales også bruk av faktorene i forbindelse med trafikkberegninger: «*Et viktig spørsmål er om tidsverdifaktorene skal brukes både i trafikkberegninger (særlig modellering av rutevalg) og beregning av trafikantnytte, eller bare i sistnevnte. Isolert sett vil det være mest konsistent å bruke dem til begge deler*»

Vi vurderer at inkludering av tidsverdifaktorer som reflekterer ulik kjørekomfort på ulike veityper i trafikkberegninger kan gi bedre kvalitet på beregningene, særlig når det gjennomføres prosjekter hvor veistandarden på enkelte strekninger heves betydelig. Særlig relevant kan det være å inkludere veistandard i forbindelse med beregning av trafikkgrunnlag for bompengeprosjekter. For kollektivtrafikk kan komfortelement inkluderes f.eks. i tilfeller hvor det er ekspressavganger og fullstoppende avganger på samme strekning, eller for å vurdere nytten av å sette inn nytt materiell.

4.2.2 Reisekjeder med ulike transportmidler

I nåværende versjon av Ada kan det benyttes ulike transportmidler ved til- og frabringerreiser (reiser mellom primærsoner og noder i transportsystemet) til kollektive transportmidler. Korte tilbringerreiser er derfor godt dekket med eksisterende modellversjon.

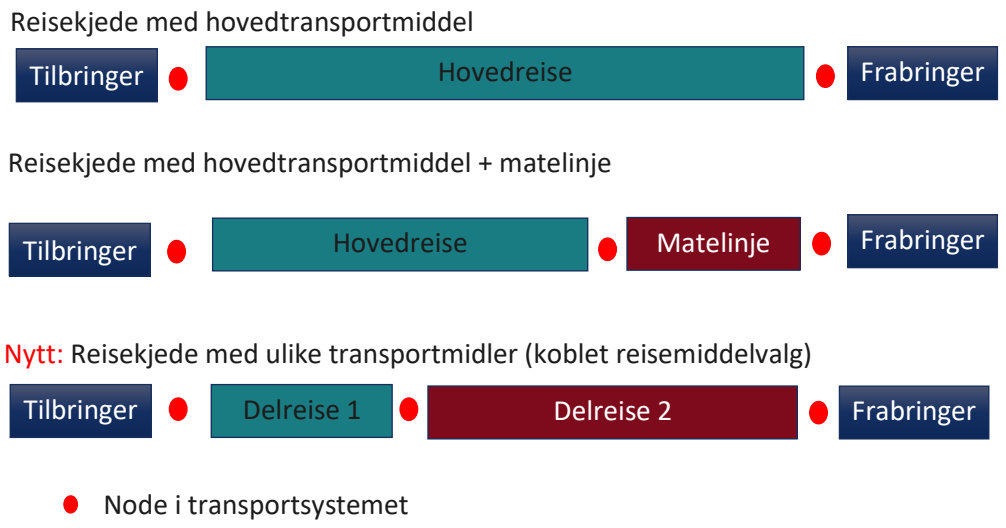
Det også er mulig å legge inn rutetabeller for andre transportmidler (f.eks. inkludere bussruter i togtilbudet) og definere disse som materruter. Da inkluderes kombinerte buss/togreiser i tilfeller hvor dette gir en høyere kvalitet på tilbudet sammenliknet med togtilbudet isolert.

Det er to ulemper med denne løsningen:

1) Den omfatter ikke kombinerte reiser med bil og kollektive transportmidler i tilfeller hvor begge transportmidler utgjør en lengre del av reisen. Eksempler på reisealternativ som ikke dekkes:
    a. Sarpsborg – Oslo, med bil fra Sarpsborg til Råde, tog fra Råde til Oslo
    b. Honningsvåg-Oslo, med bil eller buss fra Honningsvåg til Alta, fly til Oslo
2) Kollektivlinjer må legges inn under flere transportmidler – og det må gjøres en vurdering av hvilke linjer som kan være aktuelt å legge inn.

Ved å utvide nettanalysen slik at den også inkluderer analyse på tvers av transportmidler, vil modellen også kunne ivareta disse forholdene.

Figur 4-1: Illustrasjon av reisekjeder i dagens versjon av Ada og med koblet reisemiddelvalg (reisekjeder hvor flere, ulike transportmidler inngår)



Kilde: Vista Analyse

Figur 4-1 illustrerer reisekjedene som håndteres i dagens modellversjon, og (nederst) hva vi vil oppnå ved å gjennomføre nettanalyse på tvers av transportmidler.

I modellverktøyet er flere tilpasninger nødvendig for å ivareta reisekjeder med ulike transportmidler:

a) Modellverktøyet inneholder to sett av transportnoder; kollektivnoder (stasjoner/holdeplasser/terminaler) og veinoder (veikryss). Ved tilrettelegging for reisekjeder må det etableres ganglenker mellom nærliggende kollektivnoder og kjørelenker mellom nærliggende kollektiv- og veinoder.
b) Nettverksanalysen utvides til å omfatte attraktive ruter som omfatter flere transportmidler. Det må utvikles rutiner for å identifisere attraktive forbindelser som inkluderer flere transportmidler.
c) Prosedyrene for beregning av generaliserte kostnader gjennomføres, i eksisterende modellversjon, delvis separat for reiser med individuelle og reiser med kollektive transportmidler. Prosedyrene må tilpasses for å ivareta kombinasjoner av individuelle og kollektive transportmidler.
d) Beregningen av generaliserte kostnader må reflektere ulik tilgang/kostnad ved bruk av bil, avhengig av hvilket ledd i reisen bruk av bil inngår (egen bil vs. leiebil)

4.2.3 Uttrekk av resultater fra resultatdatabasen / analyser

Slik resultatdatabasen er bygget opp, med tid- og stedfesting av alle simuleringsresultater («reiser»), er det tilnærmet uendelige muligheter til å analysere virkninger av tiltak på ulike nivåer. Foreløpig er disse mulighetene utforsket i liten grad. I tillegg til uttrekk av enkelte aggregerte resultater er det etablert rutiner for å hente ut resultater per avgang for kollektivlinjer og døgnfordeling av veitrafikk fordelt på lenker.

En viktig del av utviklingsarbeidet i den nærmeste framtiden vil være å etablere rutiner for uttrekk av resultater og utforske muligheter for å gjennomføre ulike typer analyser mot resultatdatabasene.

Vi har også startet arbeidet med å etablere rutiner for uttrekk av resultater til samfunnsøkonomiske lønnsomhetsberegninger. Det legges opp til beregninger av trafikant- og operatørnytte både basert på de verdsettingsforutsetninger som benyttes av transportetatene og basert på parameterverdier som benyttes i modellen. En utfordring i forhold til beregning med transportetatenes forutsetninger er at ventetidsbegrepet i Ada avviker fra det frekvensavhengige ventetidsbegrepet som ligger til grunn for verdsettingsforutsetningene (frekvensavhengig).

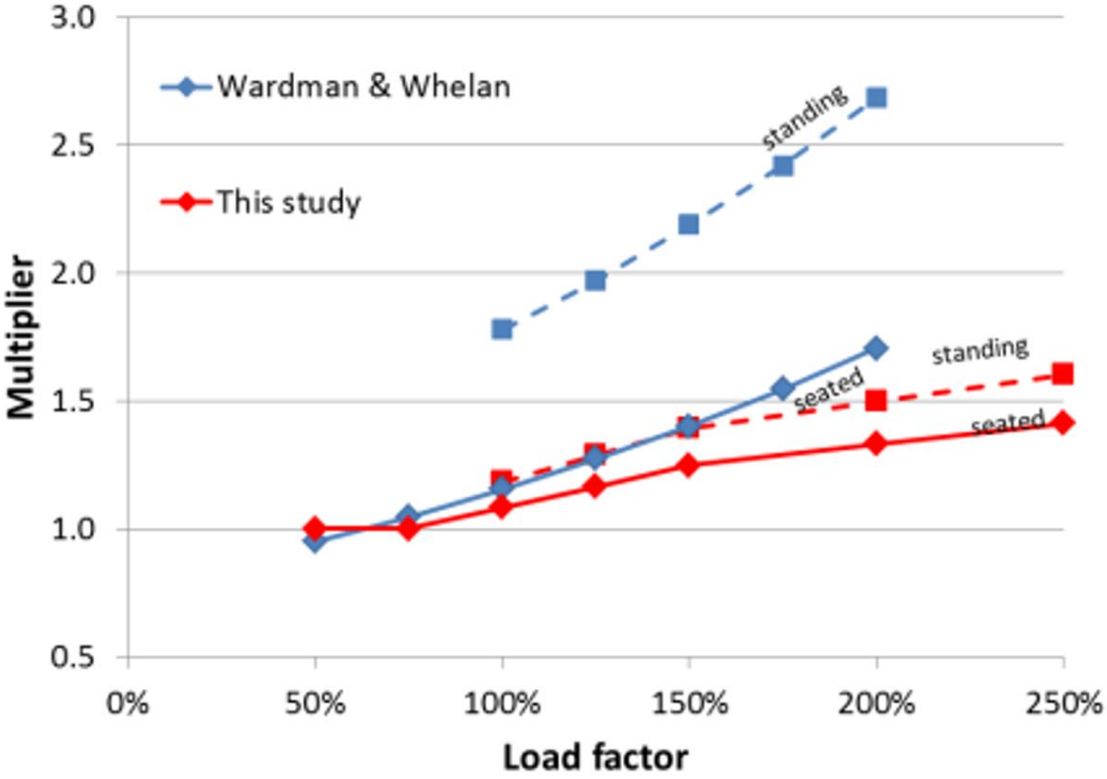
4.3 Muligheter for videre utvikling

4.3.1 Trengselskostnader

Trengselskostnader oppstår når kapasitetsutnyttelsen i kollektivtransportmidler blir høy. En rimelig antagelse er at trengselskostnaden (for den enkelte trafikant) kan bestemmes som en funksjon av lengden på tid med trengsel, omfanget av trengsel og trafikantens verdsetting av spart reisetid.

Omfanget av trengsel er avhengig av kapasitetsutnyttelsen, og ulik for stående og sittende. Ulike undersøkelser om belastningen ved trengsel gir sprikende resultater. I Figur 4-2 vises en sammenlikning av resultater fra to studier; Kroes et al. (2013) og Wardman & Whelan (2011). Av figuren går det fram at det er store forskjeller i (gjennomsnittlig) verdsetting mellom de to undersøkelsene.

Figur 4-2 Trengselskostnader. Sammenheng med setekapasitetsutnyttelse



Kilde: Kroes et al. (2013)

Trafikantenes verdsetting av tid med trengsel vs. verdsetting av tid uten trengsel vil kunne variere. Haywood, Koning & Monchambert (2017) analyserer hvilke faktorer som påvirker trengselsulempen og hvordan disse varierer mellom ulike grupper av trafikanter. Ved siden av ulempen ved å stå, identifiserer analysen ubehagelig nærhet («over-closeness») og bortkastet tid («wasted time») som signifikante faktorer for å forklare ulempene ved trengsel. Fordelt på sosioøkonomiske variabler finner studien at menn opplever mindre ubehag ved trengsel enn kvinner, at opplevd ulempe øker med økende inntekt og at opplevelsen av bortkastet tid er avtagende med alder.

En utfordring med å inkludere beregning av trengselskostnader i trafikkberegningsmodeller er (igjen) at modellene ser på et gjennomsnittsdøgn, dvs. at trafikkmengden i modellen er den samme alle dager. I praksis vil det være store variasjoner i trafikkvolumer mellom ukedager og sesongavhengig. Ved beregning av trengselsulempe basert på sammenhenger som illustrert i Figur 4-2, vil beregninger på gjennomsnittlige trafikkvolumer undervurdere trengselskostnaden: Forventet trengsel > beregnet trengsel ved forventet trafikk.

Trenklin (Ranheim, 2017) inneholder metodikk for beregning av trengselskostnader. Trengselskostnader beregnes med utgangspunkt i funksjoner fra Wardman & Whelan (2011) og reisende omfordeles mellom togavganger basert på avveininger mellom ekstra ventetid og reduserte trengselskostnader. Beregningene baseres på gjennomsnittsdøgn.

Trengselskostnader i Ada

Ada kan enkelt utvikles til å beregne trengselskostnader som grunnlag for nytteberegninger, mens inkludering i valgmodellen krever etablering av ny funksjonalitet. For begge formål er det nødvendig å

inkludere forutsetninger om kapasitet i de enkelte avgangene (variabel som inneholder egenskaper ved materiellet som benyttes) og forutsetninger om sammenheng mellom belegg og trengselskostnader.

En nærliggende mulighet for implementering av trengselskostnader i valgmodellen vil være:

1. gjennomføre modellberegning uten trengselskostnader (evt. med referanseverdier)
2. beregne trengselskostnader for hver simulert reise i resultatdatabasen – og endringer i valg av transportmiddel / avgang.
3. Repetere trinn 2 fram til likevekt.

Dette tilsvarer prosessen som er etablert i Trenklin. Forskjellen består i at prosedyren gjennomføres på «individnivå» og at den også vil inkludere endringer i valg av transportmiddel.

For å ivareta at forventet trengsel > beregnet trengsel ved forventet trafikk er det, i nytteberegningen, også nødvendig å legge inn variasjoner i etterspørselen, og beregne trengselskostnaden for ulike nivåer. Dette ble gjort ved beregning av trengsel i den samfunnsøkonomiske analysen i KVU Oslo Navet (Vista Analyse, 2015).

4.3.2 Punktlighet/regularitet

Forsinkelser kan gi flere typer ulemper for trafikantene:

(i) Redusert komfort under reisen
(ii) Usikkerhet knyttet til ankomsttid

Det første forholdet er knyttet til varigheten av reisen (median reisetid), mens det andre forholdet er knyttet til variasjon i reisetid (varians reisetid). Modellering av redusert komfort under reisen kan gjøres på tilsvarende måte som beskrevet under avsnitt 4.2.1 om kjørekomfort og sikkerhet. For veitrafikk (hvor punktlighet har klart større betydning for komfort enn for kollektivtrafikk) kan komfortelementet dermed enkelt inkluderes i Ada dersom det kan legges til grunn at multiplikator på verdsetting av reisetid gir en rimelig representasjon av atferden i forhold til forsinkelser.

For aggregerte modeller fins en rekke eksempler på modellering av usikkerhet knyttet til ankomsttid, bl.a. University of Leeds (2008), Danmarks tekniske Universitet (2008) og Cambridge Systematics (2012). Ifølge Fosgerau (2016) er tre ting er nødvendig for å inkludere kostnader ved reisetidsvariabilitet:

1. Definere en måleenhet for reisetidsvariabilitet
2. Anslå omfanget av reisetidsvariabilitet
3. Bestemme kostnadene for den reisende pr. enhet reisetidsvariabilitet

Vi mener det er betydelige utfordringer knyttet til både pkt. 2 og pkt. 3. For å anslå omfanget av reisetidsvariabilitet for kollektive transportmidler kreves detaljerte analyser av punktlighet på linje- og avgangsnivå, tilsvarende gjelder for veitrafikk. Analyser basert på posisjonsdata fra mobiltelefoner kan være en vei til økt kunnskap om reisetidsvariabilitet (pkt. 2).

Enda vanskeligere er det å bestemme hvordan forsinkelseskostnadene for den reisende påvirkes av reisetidsvariabiliteten. For den enkelte trafikant vil valg av transportmiddel og reiserute påvirkes av avveininger mellom:

1. konsekvenser av å komme senere enn ønsket til reisemålet
2. (Generaliserte) kostnader av tiltak for å øke sannsynligheten for å komme fram til ønsket tidspunkt.

Konsekvenser av å komme for sent fram avhenger i stor grad av om det påvirker nytten knyttet til aktiviteten som ønskes gjennomført ved reisemålet. I noen tilfeller kan konsekvensen være stor og knyttet til ankomst før et konkret tidspunkt (f.eks. flyavgang, viktig møte). Konsekvensen kan da verdsettes som en konstant og knyttes til dette tidspunktet. I andre tilfeller vil konsekvensen av å komme senere enn ønsket være mindre (f.eks. ankomst til arbeidssted for arbeidstager med fleksitid), konsekvensen kan da verdsettes i form av kroner per tidsenhet.

Vår vurdering er at det er lite fruktbart å forsøke å beregne konsekvenser av å komme for sent som gjennomsnitt over trafikantgrupper, innslaget av konstanter (store kostnader knyttet til definerte tidspunkt) gjør det også meningsløst å knytte konsekvenskostnadene til modellens eksisterende tidsvariabler.

Kostnader knyttet til tiltak for å redusere konsekvenser er enklere å inkludere i en modell. Disse vil – primært – bestå av at trafikantene legger inn ekstra ventetid (buffertid), utfordringen består i å identifisere omfanget av ekstra buffertid.

I vedlegg D vises hvordan optimal buffertid kan beregnes i en disaggregert valgmodell. En implementering vil forutsette økt kunnskap særlig om:

a) Variasjoner i konsekvenser av for sen ankomst
b) Variasjoner i framføringstid i transportnettet (vei og kollektiv)

I tillegg kan det (med utgangspunkt i hvordan nettanalysen i Ada nå er bygget opp), være nødvendig å utvide søket etter avganger til å omfatte reiseruter med ulik sannsynlighet for å ankomme til gitte tidspunkter:

1. For reiseruter med bil (uten ferjeforbindelser), med kjent sannsynlighetsfordeling for ankomst, kan hver trafikant legge på buffertid (ventetid) ved ankomst som gir optimal avveiing i forhold til konsekvensen av å komme for sent.
2. For kollektive reiseruter (og bilruter som inkluderer ferje), vil trafikantene optimalisere innenfor et begrenset utvalg av ankomsttider, dvs. buffertiden vil generelt være noe større eller noe mindre enn det som er optimalt.
3. For reiseruter som inneholder flere delreiser, vil også buffertiden kunne fordeles på ulike deler av reisen. Samtidig øker kravet til punktlighet for hver delreise som inngår. For at kravet til punktlighet skal nås for ruten som helhet, må punktligheten på hvert ledd i kjeden være n-te roten av antall ledd (n) i reisen ($\sqrt[antall\ ledd]{a}$.) Er kravet til ankomstpunktlighet 86 % for hele ruten, blir kravet 92,7 % pr. delreise når det er to ledd 95,1 % pr. delreise når det er tre ledd og 96,3 % pr. delreise når det er fire ledd. Konsekvensen blir at kravet til samlet buffertid øker drastisk.

Som det går fram, er det både økt kunnskap, innhenting av detaljerte data, og endringer i modellformulering nødvendig for å benytte Ada til (gode) beregninger av virkninger av endringer i punktlighet. I første omgang vurderer vi derfor at det er mer aktuelt å benytte modellverktøyet som utgangspunkt for å bygge kunnskap og teste modellformuleringer enn til å bygge modeller hvor det innhentes komplette datasett som er nødvendig for å inkludere punktlighet i valgmodellen.

4.3.3 Valgmodell for tur-retur-reiser

Eksisterende modellversjon er basert på reiser én vei. I noen tilfeller gir dette ubalanser i reisemiddelvalg avhengig av reiseretning. Dette kan gjelde i situasjoner hvor det er variasjoner i kvaliteten på tilbudet over dagen, f.eks. hvis det er køer i veinettet i morgenrush, men ikke i ettermiddagsrush eller dersom det kjøres ekspressavganger i kollektivtilbudet bare i en retning. Bompengeinnkreving i en retning kan gi tilsvarende problemer, dette kan løses ved å legge inn innkreving med halv takst i begge retninger i modellen.

Et større problem kan være at modellering basert på enkeltreiser ikke gir et riktig bilde av trafikantenes preferanser i tilfeller hvor det er store forskjeller i reisetid mellom alternativene. Det beste eksemplet på dette er kanskje relasjoner med konkurranse mellom fly og landbaserte transportmidler. Nytten ved en reise er knyttet til den tiden den reisende oppholder seg ved reisemålet. Hvis f.eks. en bosatt i Trondheim vil gjennomføre en reise til Oslo med ønsket ankomst 9:00 og ønsket avgang 17:00 kan dette greit gjennomføres i løpet av dagen med fly, mens reise med andre transportmidler tar så lang tid at det gir ulemper i form av ekstra overnattinger eller at natten benyttes til å reise.

Referanser

Arge, N., Homleid, T., & Stølan, A. (2000). *Modeller på randen....* Oslo: LOKTRA.

Cambridge Systematics. ICF International. (2012). *Value of Travel Time Reliability. Synthesis Report & Workshop Working Paper.*

Danmarks tekniske Universitet, transportavdelingen. (2008). *The Value of travel time variability for a scheduled service.* København.

de Jong, G., Ben-Akiva, M., Baak, J., & Grønland, S.-E. (2013). *Method Report - Logistics Model in the Norwegian National Freight Model System (Version 3).* Significance.

Flügel, S. (2014). *Accounting for user type and mode effects on the value of travel time savings in project appraisal: Opportunities and challenges.*

Flügel, S., & Madslien, A. (TØI rapport 1778/2020). *Tidsverdi som kontinuerlig funksjon av reisedistanse.* Oslo: Transportøkonomisk Institutt.

Fosgerau, M. (2016). *The valuation og travel time variability.* Lyngby: Danmarks Tekniske Universitet.

Greenberger, M., M.A, C., & B.R, C. (1976). *Models in the Policy Process.* New York: Russel Sage.

Haywood, L., Koning, M., & Monchambert, G. (2017). *Crowding in public transportt: Who cares and why?* Transportation Research, Elsevier.

Kroes, E., Kouwenhove, M., Debrincat, L., & Pauget, N. (2013). *On the value of crowding in public transport for Ile-de-France.* International Transport Forum Discussion Paper, No. 2013-18.

Minken, H. (2005). *Transportmodeller, forutsetninger, norsk praksis.* OSLO: TØI, arbeidsdokument 1739/2005.

Ranheim, P. B. (2017). *Trenklin versjon 3. Dokumenmtasjon og brukerveiledning.* Oslo: Jernbanedirektoratet .

Train, K. E. (2003). *Discrete Choice Methods with Simulation.* Cambridge University Press.

Transportøkonomisk Institutt. (TØI 1819/2021). *Transportmodeller mot fremtiden.* Oslo: Transportøkonimsk Institutt.

Transportøkonomisk Institutt. (TØI rapport 1633/2018). *Tidtabellbasert kollektivrutevalg og modellering av korresponderende ruter med CUBE Voyager.* Oslo: Transportøkonomisk Institutt.

Transportøkonomisk Institutt. (TØI rapport 1774/2020). *Verdsetting av kjørekomfort for ulike veityper.* Oslo: Transportøkonomisk Institutt.

TØI. (TØI rapport 1778/2020). *Tidsverdi som kontinuerlig funksjon av reisedistanse.* Oslo: Transporøkonomisk Institutt.

University of Leeds. Institute for Transport Studies. (2008). *Multimodal Travel Time Variability. Final Report.* London.

Vista Analyse. (2015). *KVU Oslo Navet. Samfunnsøkonomisk analyse. Vedlegg til delrapport 4.* Oslo: Jernbaneverket, Ruter, Statens vegvesen.

Wardman, M., & Whelan, G. (2011). *Twenty Years of Rail Crowding Valuation Studies: Evidence and Lessons from British Experience.* Transport Reviews: A, 31:3, 379-398.

Yuan, J. (2006). *Stochastic Modelling of Train Delays and Delay Propagation in Stations.* Delft: Technische Universiteit .

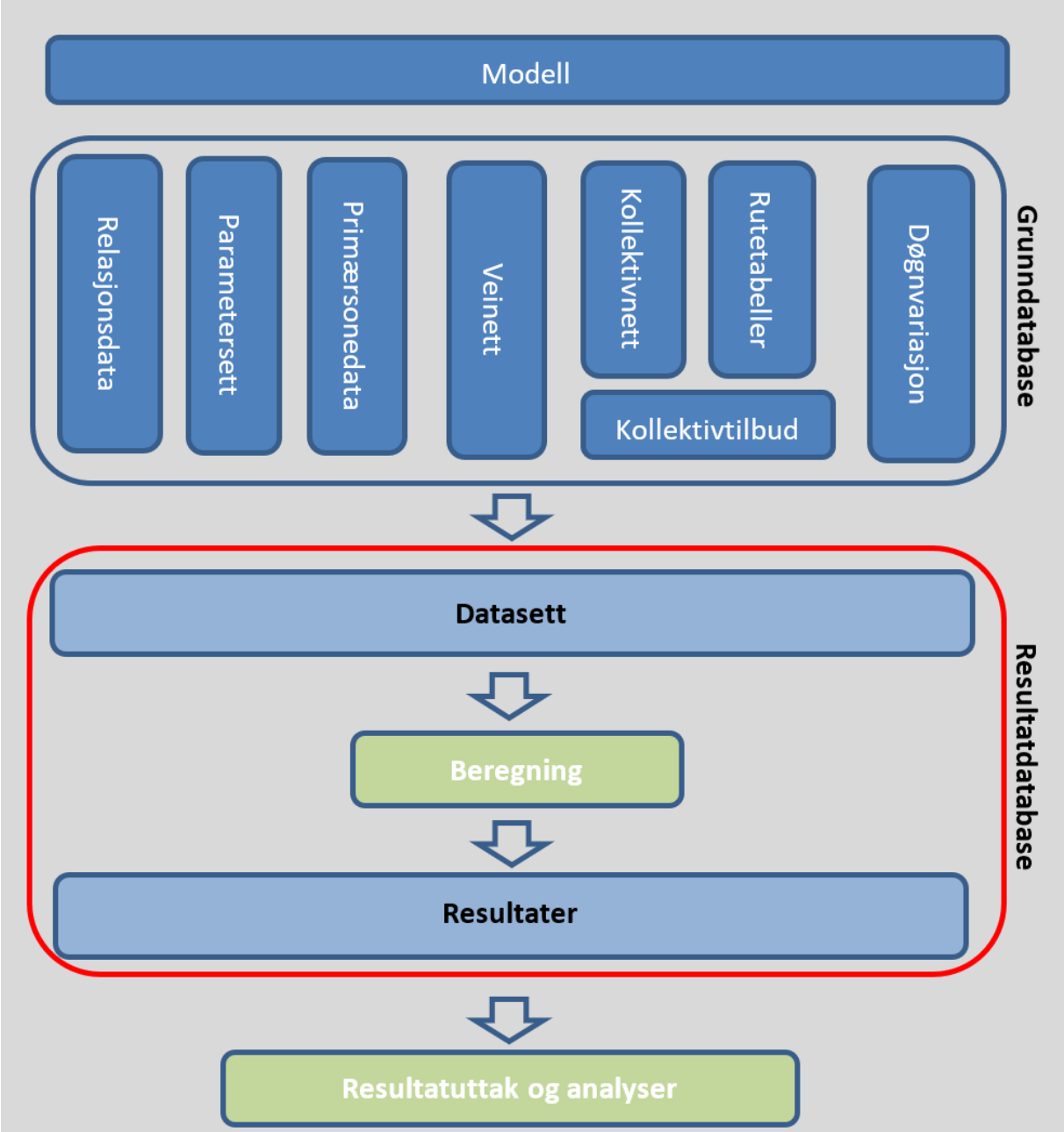
Vedlegg

A Dataflyt

Innenfor modellverktøyet kan det etableres flere modeller, og modellspesifikke opplysninger er samlet i en database («Modell» i figuren nedenfor).

Innenfor hver modell etableres en grunndatabase som inneholder alle eksogene variabler som inngår ved beregninger med modellen. For kjøringer med modellen settes elementer fra grunndatabasen sammen til et datasett.

Figur 4-3 Oversikt over databaser og dataflyt i Ada



Under og etter modellberegningene lagres resultater av beregningene i en resultatdatabase. Dette inkluderer forutsetninger og resultater på disaggregert nivå. Resultatdatabasen inkluderer også komplett

sett av grunndata. Samlet er det omfattende muligheter til å hente ut resultater med ulike fokus og detaljeringsnivå – og å gjøre følsomhetsanalyser basert på endringer i enkeltvariabler eller kombinasjoner av flere variabler.

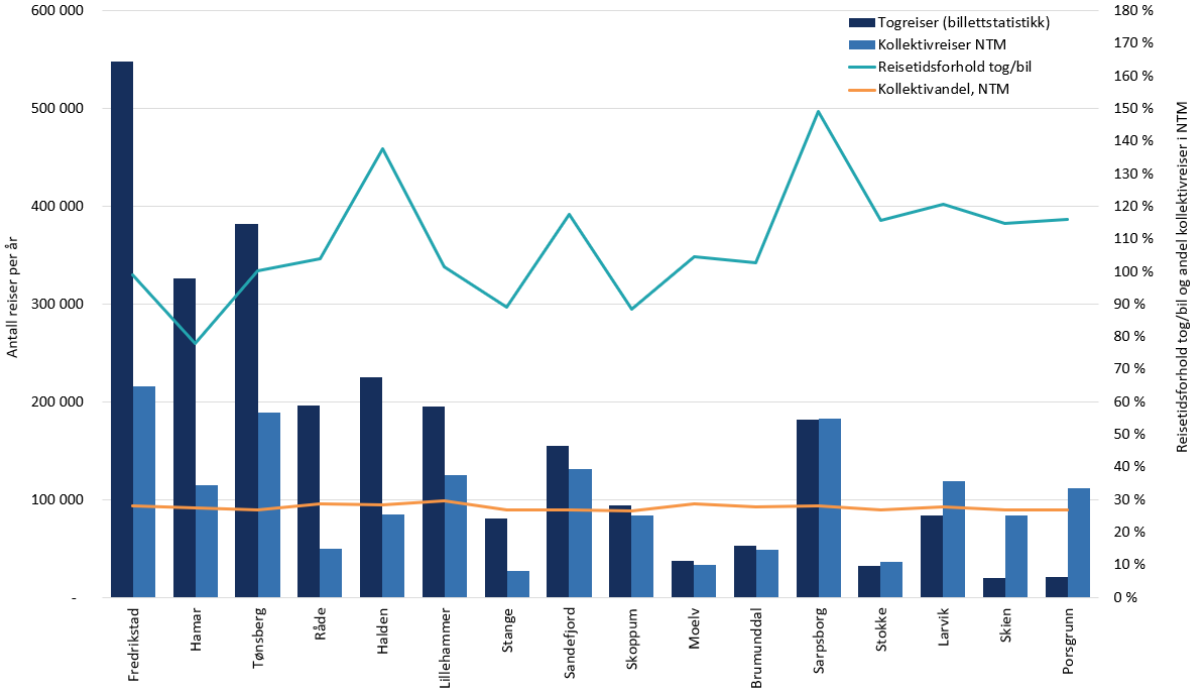
B NTM vs. billettstatistikk, InterCity

I forbindelse med oppdatering av datagrunnlaget for InterCity-modellen gjorde vi uttrekk av bil- og kollektivturmatriser fra Nasjonal transportmodell (NTM). I Figur 4-4 sammenliknes antall kollektivturer i NTM med Vy's statistikk for solgte togbilletter til/fra Oslo.

Samlet for de 16 relasjonene var det 2,63 mill. togreiser i billettstatistikken, mot 1,64 mill. kollektivreiser (sum buss og tog i NTM), dvs. et vesentlig avvik.

I figuren er relasjonene sortert etter størrelse på avviket.

Figur 4-4 Sammenlikning beregnet antall kollektivreiser til/fra Oslo vs. Vy's billettstatistikk



Kilde: Vista Analyse

I figuren vises også kollektivandel av reiser på de ulike relasjonen i NTM (oransje linje). Av figuren går det fram at det nesten ikke er variasjon mellom de ulike relasjonene i modellen. Sett i forhold til avvikene mellom beregnet trafikk og statistikk over antall togreiser, ser det ut til at NTM i liten grad er i stand til å representere faktisk reisemønster og transportmiddelvalg i disse markedene.

C Vekting av simuleringer

Ved gjennomføring av beregninger med modellen, gjennomføres et stort antall simuleringer av enkeltreiser på hver relasjon. Dette gir oss en fordeling av reisene på transportmidler (samt på ruter/linjer og avganger for hvert transportmiddel) samt en rekke andre opplysninger knyttet til valgt alternativ i den enkelte simulering.

For å knytte simuleringene til datagrunnlaget (antall reiser på relasjonen), vektes hver simulering. Vekting kan gjennomføres mot totalt antall reiser (lik vekt for alle simuleringer) eller mot antall reiser for hvert transportmiddel (ulike vekter for ulike transportmidler).

I kalibreringsberegninger vektes reisene slik at resultatene av simuleringene tilsvarer antall reiser i datagrunnlaget for hver reisehensikt i hver periode.

Ved oppsett av kalibreringsberegning kan bruker velge om vektingen skal gjøres summert over alle transportmidler eller individuelt for hvert transportmiddel.

Definisjoner:

α_{ijk} Simuleringsvekt i kalibreringsberegning, hensikt *i*, transportmiddel *j*, periode *k*

$\sum_j Sim_{ik}$ Antall simuleringer, hensikt *i*, periode *k,* sum over *j* transportmidler

SIM_{ijk} Antall simuleringsvalg for hensikt *i*, transportmiddel *j*, periode *k*

$\sum_j D_{ik}$ Reiser i datagrunnlag, sum over transportmidler, hensikt *i*, periode *k*

D_{ijk} Reiser i datagrunnlag, hensikt *i*, transportmiddel *j*, periode *k*

Ved kalibreringsberegninger gir dette følgende formler for beregning av simuleringsvekter når det (i) benyttes samme vekt for alle transportmidler eller (ii) vektes individuelt for hvert transportmiddel.

(i) $$\alpha_{ik} = \frac{\sum_j D_{ik}}{\sum_j SIM_{ik}}$$

(ii) $$\alpha_{ijk} = \frac{D_{ijk}}{SIM_{ijk}}$$

Dersom det ikke registreres simuleringer for et transportmiddel ($SIM_{ijk} = 0$) eller det ikke er reiser i datagrunnlaget (D_{ijk}=0), benyttes formel (i) for dette transportmiddelet også i beregninger hvor det vektes individuelt.

Ved Referanseberegninger tas det hensyn til at trafikkvolumene – sammenliknet med kalibreringsberegningen – kan påvirkes av generell etterspørselsvekst, endringer i arealbruksforutsetninger og endringer i transporttilbud:

1. Endringer i reiseetterspørsel (uavhengig av aktivitetsvekst). Variabelen årlig vekst ($ÅV_{ik}$) benyttes til å framskrive fra dataår til beregningsår.
2. Endringer i reiseetterspørsel knyttet til aktivitetsvekst (befolkningsvekst etc.) i sonene. For hver reisehensikt beregnes relativ endring i sonens genererings- og attraheringsvariable; veksten på relasjonen beregnes deretter som kvadratroten av veksten i genereringsfaktorer og veksten i

attraheringsfaktorer. I beregningen tas hensyn til datagrunnlagets forutsetning om fordeling av reisene på relasjonen etter genereringssone.

3. Endringer i gjennomsnittlige generaliserte kostnader for reiser på relasjonen.

β_{ijk} Simuleringsvekt i referanseberegning, hensikt *i*, transportmiddel *j*, periode *k*

$\sum_j DF_{ik}$ Framskrevet antall reiser, sum over transportmidler, hensikt *i*, periode *k*

DF_{ijk} Framskrevet antall reiser, hensikt *i*, transportmiddel *j*, periode *k*

ÅV_{ik} Årlig etterspørselsvekst, hensikt *i*, periode *k*

$Gen_i^{Sone_{Alt}}$ Genereringsvekt for hensikt *i*, sone = A eller B (de to modellsonene som inngår i relasjonen), Alt = Kalibreringsalternativ eller Referansealternativ.

$Att_i^{Sone_{Alt}}$ Attraheringsvekt for hensikt *i*, sone = A eller B (de to modellsonene som inngår i relasjonen), Alt = Kalibreringsalternativ eller Referansealternativ.

AB_i Andel av reisene som er generert i modellsone A.

GK_{ijk}^{Alt} Generaliserte kostnader, hensikt i, transportmiddel j, periode k, Alt = kalibreringsalternativ, Referansealternativ eller tiltaksalternativ

GK_i^{EL} Elastisitet mhp endringer i generaliserte kostnader, reisehensikt i.

Med disse definisjonene kan framskrevet trafikk for hensikt *i*, transportmiddel *j*, periode *k* beregnes ved formelen:

(iii) $$DF_{ijk} = D_{ijk} * e^{(\text{BerÅr}-\text{DatÅr})*\ln(1+\text{ÅV}_{ik})} *$$

$$(AB_i * (\frac{Gen_i^{A_{REF}}}{Gen_i^{A_{KAL}}} * \frac{Att_i^{B_{REF}}}{Att_i^{B_{KAL}}})^{0,5} + (1 - AB_i) * (\frac{Gen_i^{B_{REF}}}{Gen_i^{B_{KAL}}} * \frac{Att_i^{B_{REF}}}{Att_i^{B_{KAL}}})^{0,5})$$

I første linje multipliseres framskrevet antall reiser endring i reiseetterspørsel (uavhengig av aktivitets-vekst) fra dataår til beregningsår. I den andre linjen multipliseres dette uttrykket videre med beregnet etterspørselsvekst som følge av økt aktivitet (flere bosatte, arbeidsplasser mv) i de to sonene som inngår på relasjonen.

I Referanseberegninger kan simuleringsvektene etter dette beregnes med følgende formler, avhengig av om resultatene kalibreres mot datagrunnlag for sum reiser på relasjonen (iv) eller mot datagrunnlag for reiser med det enkelte transportmiddel (v):

(iv) $$\beta_{ijk} = e^{((\ln(GK_{ijk}^{REF}) - ln(GK_{ijk}^{KAL}))*GK_{EL} + \ln(\frac{\sum_j DF_{ijk}}{\sum_j SIM_{ijk}}))}$$

(v) $$\beta_{ijk} = e^{((\ln(GK_{ijk}^{REF}) - ln(GK_{ijk}^{KAL}))*GK_{EL} + \ln(\frac{DF_{ijk}}{SIM_{ijk}}))}$$

Første ledd i formlene ivaretar virkninger av endringer i generaliserte kostnader for reisene på relasjonen. Andre ledd ($\ln(\frac{\sum_j DF_{ijk}}{\sum_j SIM_{ijk}})$) fanger opp generell trafikkvekst og endrede arealbruksforutsetninger, i tillegg til at det ivaretar forholdet mellom trafikkgrunnlag og antall simuleringer som gjennomføres for hver reisehensikt på relasjonen.

Tiltaksberegninger forutsettes gjennomført med samme beregningsår som gjennomførte kalibreringsberegninger/referanseberegninger. Beregningene gjennomføres også med det samme antallet simuleringer på hver relasjon som i referanse/kalibreringsberegningen. Simuleringsvektene kan derfor bestemmes på grunnlag av endringer i generaliserte kostnader samt simuleringsvekter fra Referanse/Kalibreringsberegning. Dersom vi definerer:

γ_{ijk} Simuleringsvekt i tiltaksberegning, hensikt *i*, transportmiddel *j*, periode *k*

bestemmes denne ved formelen:

(vi) $$\gamma_{ijk} = e^{((\ln(GK_{ijk}^{TIL}) - ln(GK_{ijk}^{REF})) * GK_{EL} + \ln(\beta_{ijk}))}$$

D Punktlighet – optimal buffertid

Nyttetapet knyttet til forsinkelser vil variere mellom individer, for en enkeltreise vil nyttetapet avhenge av lengden på forsinkelsen. I det videre ser vi på trafikantens tilpasning gitt at nyttetapet ved forsinkelse kan tilnærmes ved en konstant pluss et ledd som er lineært avhengig av lengden på forsinkelsen.

Definisjoner:

d: faktisk forsinkelse (min)
α: konstant ulempe gitt forsinkelse (kroner)
β: tidsavhengig kostnad (kroner/min) gitt forsinkelse
γ: tidsavhengig kostnad (kroner/min) for buffertid
b: buffertid (min), ekstra tidsmargin som legges inn for å øke sannsynligheten for å komme fram til ønsket tidspunkt
A: konsekvens av forsinkelse (kroner)
B: nyttetap ved buffertid (kroner)
C: samlede konsekvenser av forsinkelsene (=A+B)

Vi antar at A er en konstant (α) pluss et ledd (β) som avhenger av forventet forsinkelse. Vi definerer forventet forsinkelse ved:

(i) E = $Exp(d-b)|d>b|$

og lar *P (d > b)* være sannsynligheten for at forsinkelsen er større enn buffertiden. Da kan forventet konsekvens av forsinkelser uttrykkes ved:

(ii) $A = (\propto + \beta * Exp(d-b)|d>b|) * P(d>b)$

Vi antar videre at kostnadene ved tiltak for å unngå forsinkelser – B – avhenger lineært av buffertiden, med parameteren γ:

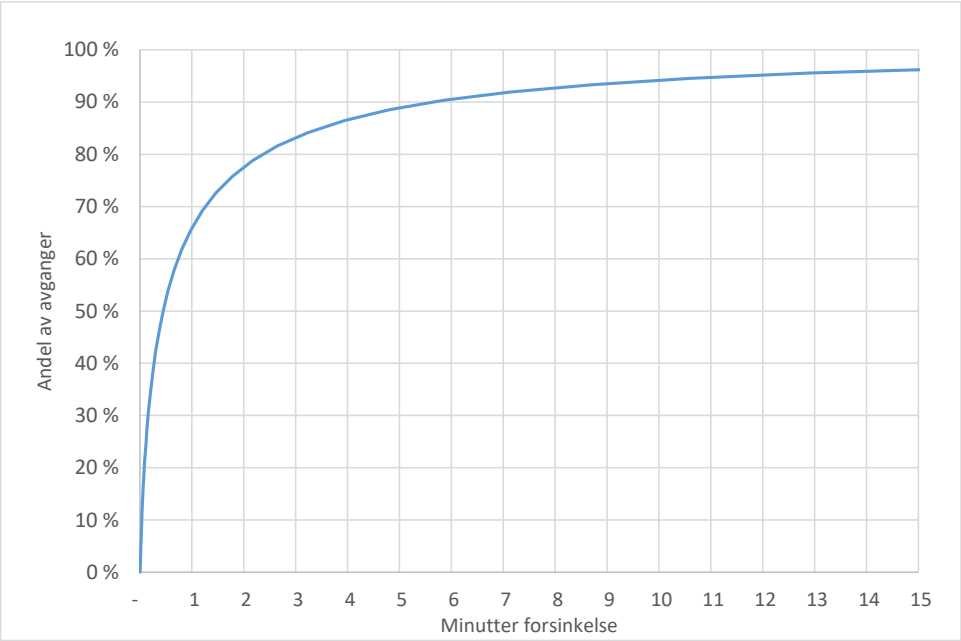
(iii) $B = \gamma * b$

Oppgaven er nå å finne verdien av *b* som minimerer A+B.

Antar vi at forsinkelsesfordelingen kan tilnærmes med en lognormal fordeling, kan sannsynligheten for forsinkelse større enn beregnet buffertid uttrykkes ved:

(iv) P(d>b) = 1- $\Phi(\frac{\ln(b)-\mu}{\sigma})$

hvor Φ er den kumulative fordelingen for normalisert normalfordeling, mens μ er median og σ standardavvik i fordelingen. Figuren under viser fordelingen gitt gjennomsnittlig forsinkelse på 1,2 min og standardavvik på 3 min.



Kilde: Vista Analyse

Leddet $(\beta * Exp(d-b)|d>b|) * P(d>b)$ i (ii) tilsvarer integralet over den den kumulative fordelingsfunksjonen i lognormal fordeling fra *b* til ∞. Dette skrives som:

(v) $$\int_b^{\infty} x \ln N(x)dx = e^{\mu+0,5*\sigma^2} * \Phi\left(\frac{\mu+\sigma^2-\ln(b)}{\sigma}\right)$$

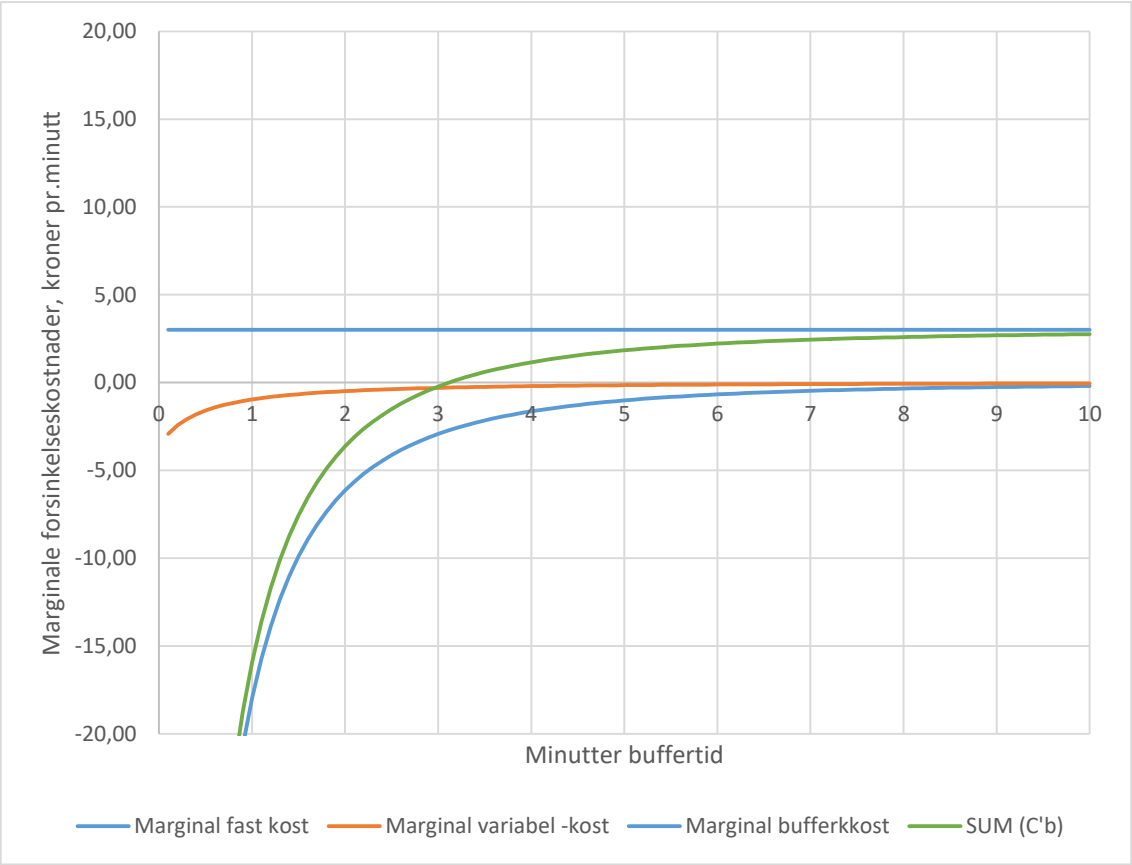
Samlede kostnader kan etter dette uttrykkes ved formelen (vi) som en funksjon av buffertiden, hvor første ledd inneholder faste kostnader ved forsinkelser, andre ledd inneholder variable kostnader ved forsinkelser og tredje ledd inneholder kostnader ved tiltak for å redusere sannsynligheten for at forsinkelser medfører ulempe for den reisende.

(vi) $$C(b) = \propto * \left(1 - \Phi\left(\frac{\ln(b)-\mu}{\sigma}\right)\right) + \beta * \left(e^{\mu+0,5*\sigma^2} * \Phi\left(\frac{\mu+\sigma^2-\ln(b)}{\sigma}\right)\right) + \gamma * b$$

De to første leddene er avtagende funksjoner av b, mens det siste leddet øker lineært med b. Ved å derivere uttrykket og finne verdien av b som gir den deriverte

(vii) $$C_b'(b) = \alpha(1-\frac{1}{\sigma_b}) * \Phi\left(\frac{\ln(b)-\mu}{\sigma}\right) - e^{\mu+0,5*\sigma^2} * \Phi\left(\frac{\mu+\sigma^2-\ln(b)}{\sigma}\right) * \frac{\beta}{\sigma_b} + \gamma$$

Ved å sette inn verdier for α, β og γ i uttrykket (vii), kan vi nå finne optimal buffertid. Med α = 800 kroner, β = 4 kroner pr. minutt og γ = 3 kroner pr. minutt, blir resultatet som vist i figuren under. Av figuren går det tydelig fram at størrelsen på konstantleddet i dette tilfelle har avgjørende betydning for optimal buffertid som vi finner ved b = 3 minutter.



Kilde: Vista Analyse

E Ordliste

Avstandsintervall	De reisendes preferanser kan i modellen variere avhengig av reiselengde. Et avstandsintervall defineres med en nedre og øvre grense (kilometer). Modellen kan inneholde inntil 5 avstandsintervall. Nedre grense i første avstandsintervall er alltid 0 km, mens øvre grense bestemmes av bruker, i øvrige avstandsintervall er nedre grense lik øvre grense i foregående intervall.
Datasett	Et datasett representerer en komplett samling av data som er nødvendig for å gjennomføre beregninger med modellen.
Døgnvariasjon	Døgnvariasjon brukes i modellen til å fordele reiseetterspørselen innenfor hver periode og til å angi variasjoner i kvaliteten på deler av transporttilbudet. Modellen gir mulighet til å angi døgnvariasjon for følgende tilbudsvariable: Reisetid på lenker i veinettet, reisekostnad i veinett, frekvens i kollektivt tilbringertilbud (primærsone), frekvens på ferjestrekninger og parkeringskostnader (primærsone, kollektivnode)
Frabringerreise	Reise fra transportnode til attraksjonsnode ved utreise, reise fra transportnode til genereringsnode ved hjemreise.
Generering	En reise defineres med et sted for generering (opprinnelse) og et sted for attraksjon (reisemål). Strekningen fra genereringspunkt til transportnettet som er definert i modellen defineres som en tilbringerreise, mens strekningen fra transportnettet til attraksjonspunkt defineres som en frabringerreise. For individuelle transportmidler vil til- og frabringertransportmiddelet være det samme som ved hovedreisen, for kollektive transportmidler vil det kunne benyttes ulike til- og frabringertransportmidler og tilgangen til / vilkårene for bruk av til- og frabringertransportmidler kan varieres i modellen.
Generaliserte kostnader	Direkte utlegg (reisekostnader) og verdien av tid som medgår (reisetid, tilbringertid, ventetid mv. med tilhørende verdier (kroner) per tidsenhet.
Hovedtransportmiddel	Transportmiddel som benyttes ved reise mellom transportnoder. Transportmiddel som benyttes mellom transportnode og primærnode betegnes tilbringertransportmiddel.
Kalibreringsberegning	Kalibreringsberegninger er beregninger som gjennomføres for et datasett, med datasettets beregningsår. Hensikten med kalibreringsberegninger er å identifisere modellparametere som gir samsvar mellom modellberegnet trafikk og modellens datagrunnlag.
Kollektivlinje	Kollektivlinje (eller bare linje) brukes i dette arbeidet som betegnelse på en strekning som betjenes sammenhengende av et transportmiddel, med faste avgangs- og ankomsttider fra definerte holdeplasser (kollektivnoder).

Kollektivnoder	Kollektivnoder er holdeplasser/stasjoner i kollektivtilbudet, og tilkoblingspunkter mellom primærnoder og transport-nettverket som er definert i modellen. Noder gis navn og defineres ved (x, y)-koordinater. Det er mulig å legge inn forutsetning om parkeringskostnader i nodene (ved tilbringertransport med bil). Kollektivnodene kan grupperes i to kategorier; knutepunktnoder og øvrige noder. Noder i kollektivsystemet knyttes sammen av avganger i kollektivlinjer som inkluderes i modellen ved innlesing av rutetabeller. Transportnode benyttes som fellesbetegnelse på kollektivnoder og veinoder.
Kollektive transportmidler	Kollektive transportmidler er ruteplanbaserte transportmidler, som tog, buss, trikk, bane, fly og ferje.
Kollektivrute	Se rute.
Legg	Legg benyttes i dette arbeidet som betegnelse på del av en rute, f.eks. vil en kollektivrute som består av to linjer bestå av to legg. Tilsvarende vil en bilrute som inneholder en ferjestrekning kunne bestå av tre legg; strekning fra første node til ferjekai, ferjestrekningen og strekning fra ferjekai til siste node.
Lenke	Lenke er en forbindelse i veinettet mellom to noder. I tillegg til identifikasjon av de to nodene, er det til hver lenke tilknyttet opplysninger om avstand (km), hastighet (km/t), reisetid (min) ubelastet og belastet og reisekostnader (kr, bompenger og ferjekostnader). Dersom den aktuelle lenken er en ferjestrekning, er også opplysninger om avgangshyppighet i ferjesambandet tilknyttet lenken.
Linje	Se kollektivlinje.
Modellsone	Ada bygges opp med modellsoner som utgjør influensområdet til en (evt. flere) større knutepunkt(er) i transportsystemet. En modellsone er en samling av primærsoner.
Node	Node representerer et geografisk punkt angitt ved x- og y-koordinater. Modellen inneholder to typer noder; kollektivnoder og veinoder. I tillegg er også tyngdepunkt i modellsoner og primærsoner representert ved en node.
Objekt	Et objekt brukes som betegnelse på en strukturert samling av data, og det er (i programmet) etablert strukturvariabler for en rekke objekter. Primærsoner, parametersett og noder er eksempler på objekter i Ada.
Parametersett	Parametersett inneholder sannsynlighetsfordelinger for trafikantenes verdsetting av ulike tidskostnader inkludert forutsetninger om korrelasjon mellom ulike fordelinger. Videre inneholder settet forutsetning om sannsynlighetsfordelinger for uobserverte variabler, kostnads- og hastighetsforutsetninger for tilbringertransportmidler etc.

Periode	I modellen kan etterspørsel/tilbud deles inn i flere tidsperioder som aggregeres til samlet etterspørsel over døgn eller år. Ada er bygget opp med utgangspunkt i at en periode i modellen skal tilsvare et døgn. Dersom det er store forskjeller i etterspørsel og/eller tilbud mellom ulike ukedager eller mellom ulike deler av året, kan det være hensiktsmessig å operere modellen med flere perioder, f.eks. ukedag og helgedag.
Primærsone	Primærsoner (primærnoder) er den laveste geografiske enhet i modellen. En primærnode kan f.eks. bestå av en grunnkrets eller en gruppe av grunnkretser. Hver primærsone identifiseres ved et nummer (grunnkretsnummer) og kan tilordnes et navn. For hver primærsone tilordnes opplysninger om lokalisering (primærnode med x-koordinat, y-koordinat - meterbasert), hvilken modellsone primærsonen er knyttet opp til, avstand til modellsonesenter (meter), parkeringskostnader, kollektivtilbud (lokalt) samt attraksjons- og genereringsfaktorer (f.eks. antall bosatte og antall arbeidsplasser)
Referanseberegning	Referanseberegninger er beregninger som gjennomføres for å finne status transportmarkedet på et framtidig tidspunkt, før gjennomføring av tiltaket som ønskes belyst.
Relasjonsdata	Relasjonsdata brukes i denne rapporten som betegnelse på data som gjelder en relasjon mellom to modellsoner. Eksempler er aggregerte etterspørselsdata (antall reiser, fordeling av reisene på retninger, årlig vekst i etterspørsel) og egenskaper ved transporttilbudet som er felles for alle som reiser på relasjonen.
Reisehensikt	Etterspørsel/tilbud kan deles inn i flere reisehensikter som aggregeres til samlet etterspørsel over døgn eller år, f.eks. arbeidsreiser, fritidsreiser og forretningsreiser; en inndeling tilpasset det som benyttes i samfunnsøkonomiske lønnsomhetsanalyser.
Reisekostnader	Reisekostnader er kostnader knyttet til reisen med hovedtransportmiddelet som benyttes ved gjennomføring av reisen. Modellen inneholder to variable for reisekostnader; Reisekost1 som inneholder kostnader på relasjonsnivå, Reisekost2 som inneholder distanseavhengige kostnader. Begge kostnadsvariable kan variere mellom reisehensikter, transportmidler og perioder i modellen. Det er også mulig å legge inn kostnader på lenker i veinett (bomkostnader) og parkeringskostnader (primærsoner og kollektivnoder). Disse kostnadskomponentene kan varieres over døgnet, men ikke mellom reisehensikter.
Reisetid	Reisetid benyttes som betegnelse på tid i hovedtransportmiddel. Dersom bil benyttes både som hoved- og tilbringertransportmiddel, benyttes samme verdsetting av reisetid både for hoved- og tilbringerdelen av reisen.
Relasjon	Forbindelsen mellom to modellsoner. Relasjonsdata er den delen av datagrunnlaget som er felles for alle nodepar (i veinett eller kollektivnettet) som inngår i det samlede transporttilbudet på relasjonen.

Rute	En rute defineres som en forbindelse mellom to noder. Ruten kan bestå av et eller flere legg som inneholder beskrivelse av variabler som er faste over døgnet. Videre inneholder ruten en eller flere avganger som inneholder beskrivelse av variabler som kan variere over døgnet. Modellen inneholder både kollektivruter og veiruter, lagret i samme strukturvariabel.
Rutetabell	Rutetabeller på spesifisert format benyttes for innlesing av tilbud for ulike kollektive transportmidler (linjer). Rutetabellene inneholder holdeplasser (noder), avgangs- og ankomsttider for på holdeplassene for alle avganger, oppholdstid på holdeplassene samt av- og påstigningsbegrensninger knyttet til hver holdeplass.
Segment	Transportmarkedet deles inn i segmenter hvor de reisende har ulike preferanser og eller står overfor transporttilbud med ulik kvalitet. Den viktigste segmenteringen i modellen er mellom ulike reisehensikter og mellom ulike perioder, men variablene «Andel som reiser alene» og «Andel med flere reisemål» bidrar til en ytterligere segmentering av reisemarkedet innenfor hver reisehensikt / periode. Markedet segmenteres også geografisk (relasjoner mellom modellsoner som igjen kan inndeles i relasjoner mellom primærsoner).
Simulering	Gjentatte trekninger fra sannsynlighetsfordelinger for verdsettingsparametere og reisetidspunkt, identifisering av mest attraktive avganger for et sett av alternative ruter og beregning av Generaliserte kostnader for å identifisere beste alternativ.
Simuleringsvekter	Simuleringsvekter er forholdet mellom totalt antall reiser og antall gjennomførte simuleringer i et markedssegment. Vektene benyttes til å aggregere resultater av enkeltsimuleringer. Når det gjennomføres referanseberegning eller tiltaksberegning, justeres vektene fra kalibreringsberegningen også for å fange opp endringer i totalt antall reiser i segmentet.
Sone	En sone representerer et avgrenset, geografisk, område. Det er to typer soner i modellen; primærsoner (som f.eks. kan være grunnkretser) og modellsoner som består av en gruppe primærsoner omkring en sonesentroide.
Strukturvariabel	En strukturvariabel er en samling av opplysninger/data knyttet til et spesielt objekt, f.eks. en reise eller en rute.
Tilbringerreise	Reise fra genereringsnode til transportnode (ved utreise), fra attraksjonsnode til transportnode (ved hjemreise).

Transportnode	Transportnode benyttes som fellesbetegnelse på kollektivnoder og veinoder. Noder er knutepunkter i transportsystemet, og tilkoblingspunkter mellom primærsoner og transportnettverket som er definert i modellen. Transportnoder gis navn og defineres ved (x, y)-koordinater. Kollektiv- og veinodene inneholder i tillegg enkelte opplysninger som er spesifikke for hver type. Veinoder – som stort sett vil være veikryss - inneholder i tillegg opplysninger om veinummer for veiene som definerer noden. For kollektivnoder er det mulig å legge inn forutsetning om parkeringskostnader. Noder i veinettet knyttes sammen ved hjelp av lenker. Transportnode benyttes som fellesbetegnelse på kollektivnoder og veinoder.
Ujevn matrise	Ujevn matrise betegnes på engelsk «jagged array» og er en flerdimensjonal samling av dataelementer hvor antall elementer i den siste dimensjonen tillates å variere. Mens en tredimensjonal matrise f.eks. kan dimensjoneres ved (5, 2, 3), dimensjoneres ujevne matriser først ved (5, 2) ( ), deretter dimensjoneres hver av de 5 * 2 vektorene i den tredje dimensjonen.
Veinode	Se transportnode
Veirute	Veirute er i dette arbeidet betegnelse på en forbindelse mellom et par av veinoder. Veirutene består av 1, .. ,n lenker, og hvert nodepar kan knyttes sammen med flere ulike veiruter.
Virkningsberegning	Virkningsberegning brukes som betegnelse på beregning som gjennomføres for å belyse virkninger av endringer i transporttilbud og / eller trafikantatferd.

Vista Analyse AS
Meltzers gate 4
0257 Oslo

post@vista-analyse.no
vista-analyse.no