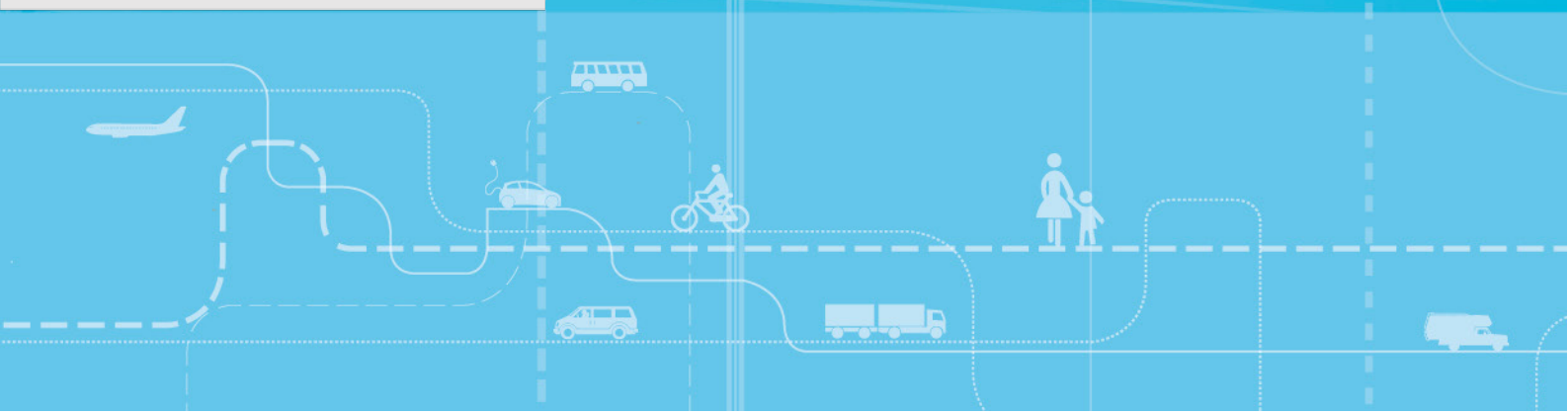
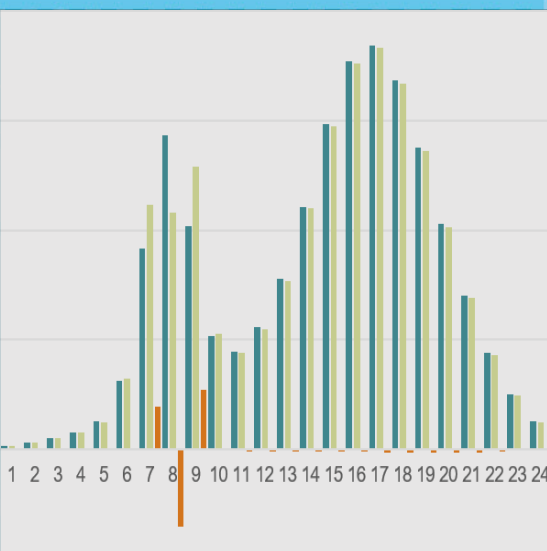


En ny modell for forskyvning av reisetidspunkt i regionale transportmodeller



En ny modell for forskyvning av reisetidspunkt i regionale transportmodeller

Stefan Flügel

Tom N. Hamre

Transportøkonomisk institutt (TØI) har opphavsrett til hele rapporten og dens enkelte deler. Innholdet kan brukes som underlagsmateriale. Når rapporten siteres eller omtales, skal TØI oppgis som kilde med navn og rapportnummer. Rapporten kan ikke endres. Ved eventuell annen bruk må forhåndssamtykke fra TØI innhentes. For øvrig gjelder [åndsverklovens](#) bestemmelser.

Tittel: En ny modell for forskyvning av reisetidspunkt i regionale transportmodeller

Forfattere: Stefan Flügel
Tom N. Hamre

Dato: 10.2019

TØI-rapport: 1727/2019

Sider: 27

ISSN elektronisk: 2535-5104

ISBN elektronisk: 978-82-480-2271-8

Finansieringskilder: NTP-transportanalysegruppe og PROSAM

Prosjekt: 4621 – Avrop 20 Reisetidspunkt

Prosjektleder: Anne Madslie

Kvalitetsansvarlig: Kjell Werner Johansen

Fagfelt: 37 - Transportmodeller

Emneord: Reisetidspunkt
Bompenger
Regional transportmodell
Transporttettersspørsmål

Sammendrag:

Denne rapporten dokumenterer arbeidet med å etablere en modell for å forskyve reisetidspunkt som følge av tidsdifferensierte endringer i transporttilbudet. Den matematiske modellen tar utgangspunkt i døgnfordelinger som bruker informasjon om pendlerstrømmer til å modellere forholdet mellom morgen- og ettermiddagsrush på relasjonsnivå. Det brukes informasjon om endringer i generaliserte reisekostnader på timesnivå til å justere døgnfordelingen ved hjelp av en logitmodell. I logitmodellen inngår det parametere som styrer følsomheten for endring i reisetidspunkt. Disse parametere er delvis segmentert med reisehensikt og informasjon om type arbeidsplasser ved destinasjon. Den foreløpige implementerte modellkoden er tilpasset Oslo-området (RTM23+) og bilturer. De første empiriske tester indikerer at foreslått modell stort sett gir forventet mønster i resultatene. Samtidig peker rapporten på flere forbedringsmuligheter av modellen.

*Transportøkonomisk Institutt
Gaustadalléen 21, 0349 Oslo
Telefon 22 57 38 00 - www.toi.no*

Title: A new model for shifting the time of travel in regional transport models

Authors: Stefan Flügel
Tom N. Hamre

Date: 10.2019

TØI Report: 1727/2019

Pages: 27

ISSN: 2535-5104

ISBN Electronic: 978-82-480-2271-8

Financed by: NTP-group for transport analyse and PROSAM

Project: 4621 - Avrop 20 Time of Travel

Project Manager: Anne Madslie

Quality Manager: Kjell Werner Johansen

Research Area: 37 – Transport Models

Keywords: Time of travel
Road toll
Transport model
Transport demand

Summary:

This report documents the work of establishing a model for shifting the time of travel as a result of time-differentiated changes in the transport supply. The mathematical model is based on within-day-distribution that uses information about commuting patterns to model the relationship between morning- and afternoon rush on a OD level. Changes in generalized travel costs at the hourly level give rise to adjustments in the within-day-distribution, using a logit model. The logit model includes parameters that control the propensity to change in the travel time. These parameters are partially segmented with travel purpose and information on the type of workplaces at destination. The existing implementation is adjusted to regional transport model of the Oslo-area (RTM23+) and is applied to car trips only. The first empirical tests indicate that the proposed model largely gives the expected pattern in the results. At the same time, the report points to several opportunities to improve of the model.

Language of report: Norwegian

*Institute of Transport Economics
Gaustadalléen 21, N-0349 Oslo, Norway
Telephone +47 22 57 38 00 - www.toi.no*

Forord

Transportetterspørselen varierer over døgnet. De regionale transportmodeller (RTM) kjøres med maksimalt 4 tidsperioder og antar at etterspørsel- og transporttilbudet er konstant innenfor hver tidsperiode. For vurdering av noen tiltak - som for eksempel tidsdifferensierte bomtakster - kan dette være for grovkornet.

Denne rapporten dokumenterer arbeidet med å etablere en modell for å forskyve reisetidspunkt som følge av tidsdifferensierte endringer i transporttilbudet. De første empiriske tester indikerer at foreslått modell stort sett gir forventet mønster i resultatene. Samtidig peker rapporten på flere forbedringsmuligheter av modellen.

Rapporten er skrevet av Stefan Flügel (TØI) og Tom N. Hamre (Numerika). Stefan har etablert den matematiske modellen mens Tom har implementert modellen som et post-prosesserings-verktøy for RTM.

Modellen tar utgangspunkt i døgnfordelinger som er etablert med en metode beskrevet i TØI rapport 1558/2017. Rikke Ingebrigtsen og Nina Hulleberg har bidratt til denne rapporten.

Rapporten er finansiert av NTP Transportanalyse og Henrik Vold i Statens Vegvesen har vært kontaktperson. Vi takker for godt samarbeid.

Anne Madslie har vært prosjektleder, og Kjell Werner Johansen har kvalitetssikret rapporten. Vi takker også Trude Kvalsvik for ferdigstilling av rapporten.

Oslo, oktober 2019

Transportøkonomisk institutt

Gunnar Lindberg
Direktør

Kjell Werner Johansen
Avdelingsleder

Innhold

Sammendrag

Summary

1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn.....	1
1.2	Utgangssituasjon i RTM.....	1
2	Ambisjonsnivå og anvendelses-område for foreslått modell	3
2.1	Integrering med RTM.....	3
2.2	Utleddning av adferdsparametere.....	3
2.3	Sammenligning med tidligere modell	4
2.4	Modellens anvendelsesområde.....	5
3	Matematisk beskrivelse av modellen	7
3.1	Hovedmodell.....	7
3.2	Konstantermer utledet fra døgnfordelingsmodellen.....	8
3.3	Mulig parameterisering av omega-parameter	11
4	Foreløpig implementering av modellen	13
4.1	Testimplementering i Excel	13
4.2	Implementering i Python	13
5	Empiriske tester	18
5.1	Kontroll av modellmekanismer.....	18
5.2	Et eksempel med økte bompenger i RTM23+	22
6	Diskusjon og mulig videreutvikling	25
7	Referanser	27

Sammendrag

En ny modell for forskyvning av reisetidspunkt for turer i regionale transportmodeller

TØI rapport 1727/2019

Forfatter(e): Stefan Flügel og Tom N. Hamre

Oslo 2019 27 sider

De regionale transportmodeller (RTM) modellerer ikke valg av reisetidspunkt og kan dermed ikke predikere i hvilken grad tiltak – som tidsdifferensierte bomtakster – fører til endringer i valg av reisetidspunkt. I denne rapporten dokumenterer vi en modell som kan fordele og forskyve etterspørselsdata fra RTM mellom enkelttimer.

Den regionale transportmodellen, RTM, er en statisk modell innenfor forhåndsbestemte tidsperioder. Mens etterspørselsmodellen i RTM-systemet, Tramod_By, predikerer reise-frekvens, transportmiddelvalg og destinasjonsvalg, kan den ikke predikere valg av avreisetidspunkt. Modellen kjøres enten med 1, 2 eller 4 tidsperioder. I forbindelse med noen analyser, spesielt i byområder, er det ønskelig å kunne beregne forventede effekter på valg av reisetidspunkt, særlig for biltrafikk. Dette kan typisk handle om at restriktive tiltak rettet mot reiser i rush overfører trafikk til perioder utenom rush, eller fra makstimen til «skuldertimene» før og etter denne timen.

Sammenlignet med en tidligere modell, rapportert i Rekdal mfl 2012, har vår foreslåtte modell en del metodiske forbedringer. Disse er kort sammenstilt i Tabell S1.

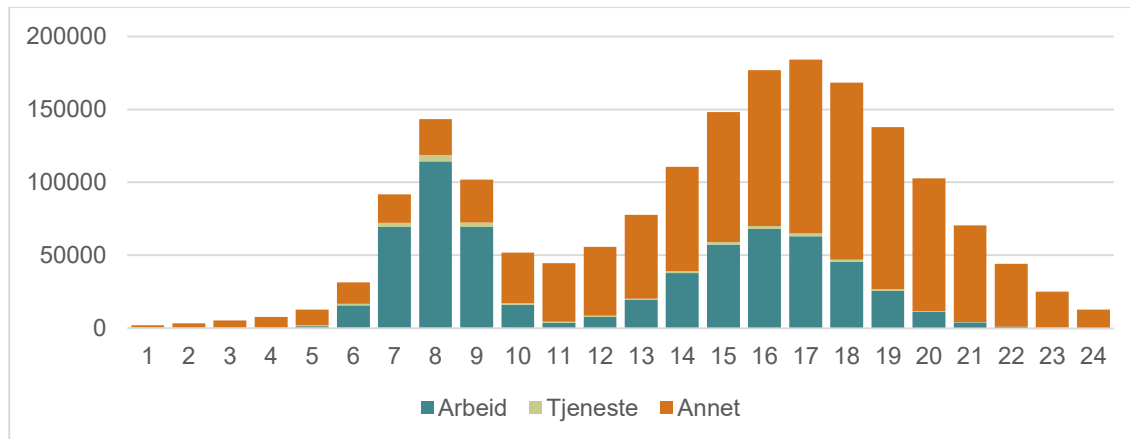
Tabell S1: Hovedforskjeller mellom gammel modell og ny foreslått modell.

Modellvariant	Rekdal mfl 2012	Ny modell
Fordeling på hvilke timer	3 timer innenfor rush (resten av døgn uendret)	24 timer
Tillater overføring fra rush til ikke-rush (og vice versa)	Nei	Ja
Fordeling av timer i referansescenario	Eksogent kalibrert	Basert på pendlerindeks og parametere fra døgnmodellen i Flügel mfl 2017
Sensitivitet av endringer	Inndeling i elastisk og uelastisk etterspørsel (bare elastisk kan forskyves)	Styres av parameter som kan variere med relasjon og reisehensikt

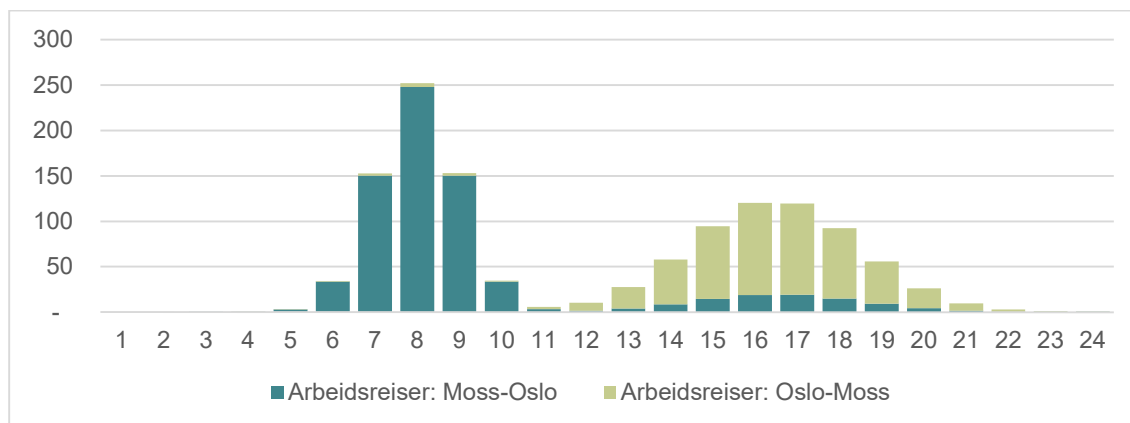
Den foreløpige implementerte modellkoden er tilpasset Oslo-området (RTM23+) og bilturer, men kan ved mindre justeringer i koden også brukes for andre delområder og andre transportmidler. Modellen er tilpasset korte reiser under 70 km. Den matematiske modellen tar utgangspunkt i døgnfordelingen som estimert i Flügel mfl 2017. Denne bruker informasjon om pendlerstrømmer til å modellere forholdet mellom morgen- og ettermiddagsrush på relasjonsnivå. Det brukes informasjon om endringer i generaliserte reisekostnader på timesnivå til å justere døgnfordelingen, ved hjelp av en logitmodell. I logitmodellen inngår det parametere som styrer følsomheten for endring i reisetidspunkt. Disse parameterne er delvis segmentert med reisehensikt og informasjon om type arbeidsplasser ved destinasjon.

Den matematiske modellen er implementert i Python der det leses inn etterspørselsdata, level-of-service-data (LoS) og sonedata fra RTM23+.

Figur S1 viser modellert døgnfordeling for alle delturer med bil i Tramod-by i RTM23+, og Figur S2 viser tidsprofil for arbeidsreiser Moss-Oslo versus Oslo-Moss.

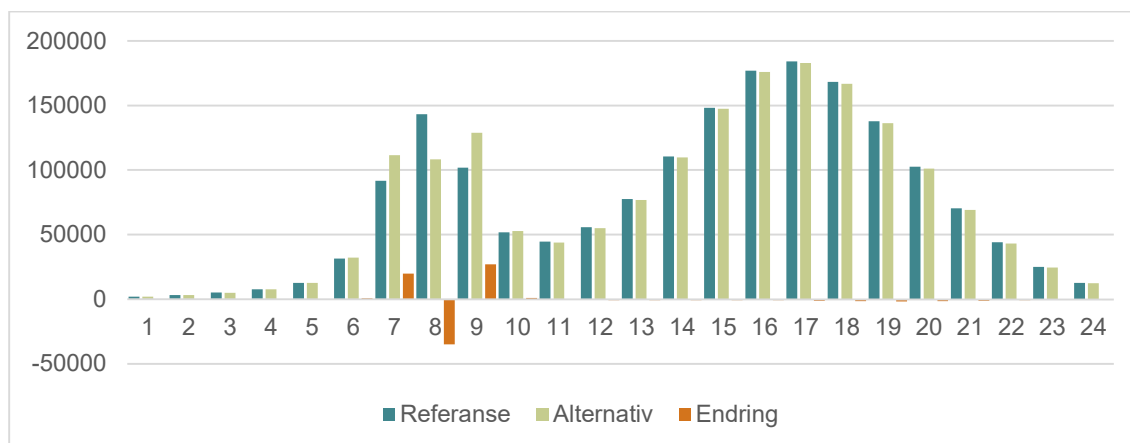


Figur S1: Døgnfordeling for bilturer over alle relasjoner i RTM23+, oppsplittet etter reisebensiikt .



Figur S2: Døgnfordeling for arbeidsreiser med bil mellom Oslo og Moss, og Moss og Oslo.

Figur S3 viser et hypotetisk eksempel med en økning i reisekostnaden (+20 kroner) mellom kl 07 og kl 08. Figuren viser at etterspørselen forskyves til før og etter tidsperioden med økt pris.



Figur S3. Endringer i døgnfordelingen etter en økning av transportkostnaden mellom kl. 7 og 8 – alle reiser.

Våre foreløpige empiriske tester viser at

- Døgnfordelingen i referansesituasjonen har en intuitiv form, både samlet og oppdelt etter reisehensikter.
- Døgnfordelingen for arbeidsreiser er en funksjon av pendlerstrømmene og gir forventet forhold mellom morgen- og ettermiddagsrush på relasjonsnivå.
- Når tilbudet i en tidsperiode forverres, så forskyves etterspørselen til timer før og etter denne tidsperioden. Det omvendte skjer ved en forbedring av tilbudet i en tidsperiode, da blir det flere reiser i denne perioden på bekostning av timene før og etter.
- Følsomheten i endringen avhenger av reisehensikt og type arbeidsplasser ved destinasjonen.

I hvilken grad endringer i LoS-data gir riktig størrelsesorden på resultatene (følsomheten) er vi mer usikker på. Dette henger i stor grad sammen med at følsomhetsparameterne er satt skjønnsmessig (uten empirisk grunnlag). Det anbefales at man gjør videre testing av modellen og forbedrer kalibreringen av parameterne.

Den implementerte modellen er en «stand-alone-applikasjon» per i dag. Den bruker utdata fra RTM («post-prosessering») uten å sende data tilbake til RTM og uten å sende data videre til verktøyene for trafikantnytteberegning. Dette kan føre til inkonsistenser. Etter at modellen er testet bedre bør det vurderes i hvilken grad modellen kan/bør integreres i RTMs modellsystem.

Summary

A new model for shifting the time of travel in regional transport models

TOI Report 11356/2019

Author(s): Stefan Flügel & Tom N. Hamre

Oslo 2019 27 pages Norwegian language

The regional transport models (RTM) do not model the choice of travel time and thus cannot predict the extent to which measures - such as time-differentiated road tolls - lead to changes in the choice of travel time. In this report, we document a model that can distribute and shift demand data from RTM between individual hours.

The regional transport model, RTM, is a static model within predetermined time periods. While the demand model in the RTM system, Tramod_By, predicts travel frequency, travel mode choice and destination choice, it cannot predict departure time choice. The model is run either with 1, 2 or 4 time periods. For some analyzes, especially in urban areas, it is desirable to be able to calculate expected changes in the choice of travel time, especially for car traffic. This can typically be the case when restrictive car measures aim at shifting traffic from inside the rush hours to periods outside the rush hours.

Compared to a previous model, reported in Rekdal et al 2012, our proposed model has some methodological improvements. These are briefly summarized in Table S1.

Table S1: Main differences between old and new model.

Model	Rekdal et al 2012	New model
What hours are redistributed?	3 hours within rush	24 hours
Allowing for shifts from rush to non-rush (and vice versa)	No	Yes
Distribution of time of travel in reference scenario	Exogenously calibrated	Based on with-day distributions given commuting patterns as proposed in Flügel et al 2017
Sensitivity of chances	Split in elastic and inelastic demand (only elastic is shifted)	Controlled with parameters that can vary with OD-relation and trip purpose

The currently implemented model code is adapted to the Oslo area (RTM23 +) and applied to car trips. However, with minor adjustments in the code, it can also be used for other regions and travel modes. The model is adapted for short journeys under 70 km. The mathematical model is based on within-day-distributions as estimated in Flügel et al 2017 that use information about commuting patterns to model the relationship between morning- and afternoon rush on a OD level. Changes in generalized travel costs at the hourly level give rise to adjustments in the within-day-distribution, using a logit model. The logit model includes parameters that control the propensity to change in the travel time. These parameters are partially segmented with travel purpose and information on the type of workplaces at destination

The mathematical model is implemented in Python where demand data, level-of-service (LoS) data and zonal data from RTM23 + are read in.

Figure S1 shows the modeled within-day-distribution for all trips in RTM23 +, and Figure S2 shows time profile for commuting trips between Moss-Oslo versus Oslo-Moss.

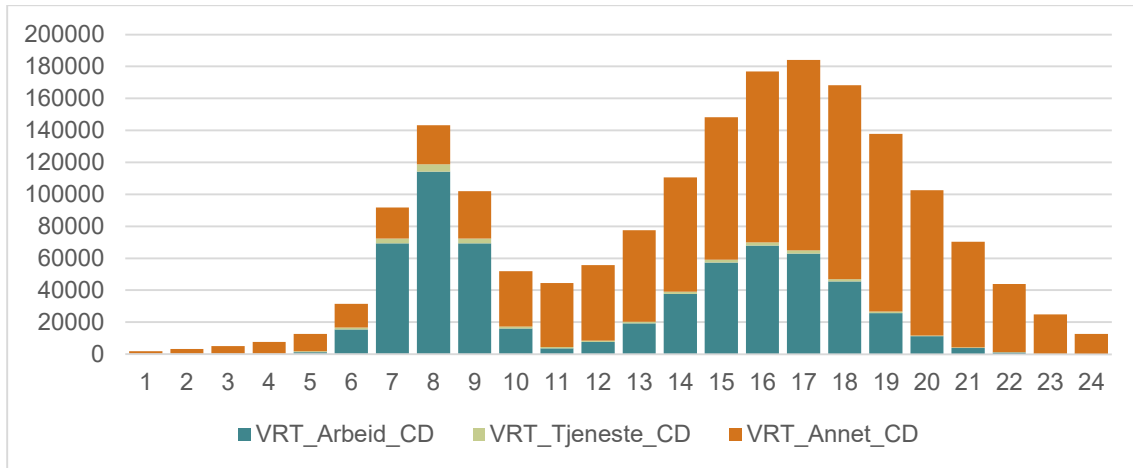


Figure S1. Within-day-distribution of car trips for all OD-relations in RTM23+, separated by travel purpose (dark green: commuting, light green: business, orange: all other trips).

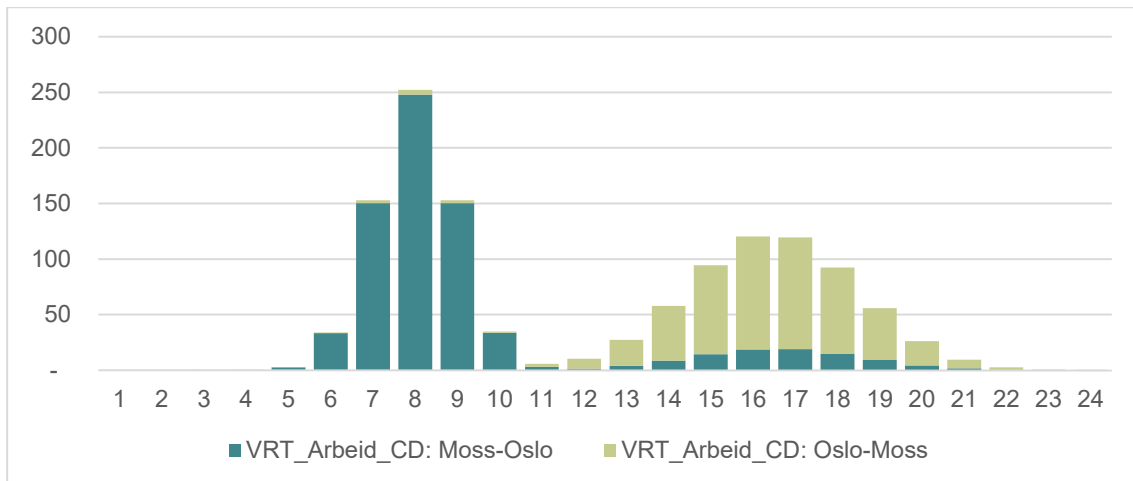


Figure S2. Within-day-distribution of commuting trips by car between Oslo and Moss (light green) and Moss and Oslo (dark green).

Figure S3 shows a hypothetical example with an increase in travel costs (+20 NOK) between 07:00 and 08:00. The figure shows that demand is shifted to before and after the time period with increased price.

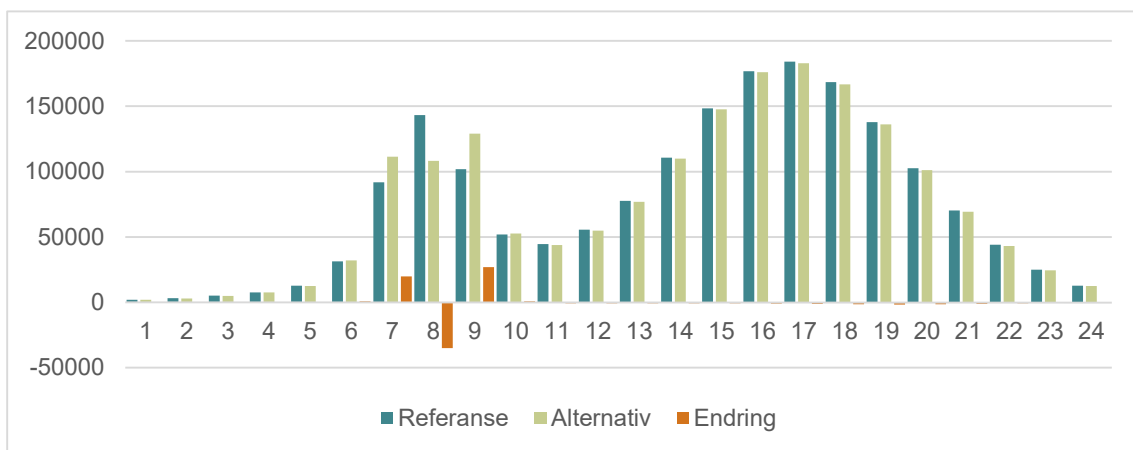


Figure S3. Changes in within-day-distributions after an increase in travel costs between 07:00 and 08:00.

Our preliminary empirical tests show that

- The within-day distributions in the reference situation have intuitive forms, both in total and subdivided by travel purposes.
- The within-day distributions for commuting trips is a function of commuter flows and provides the expected relationship between morning and afternoon rush at on OD level
- When the supply worsens in a certain time period, the demand is shifted to hours before and after that time period. The opposite is true when improving the supply. Then there will be more trips in that period on the expense of the hours before and after that period.
- The sensitivity of the change depends on the travel purpose and the type of workplaces at the destination.

We are more uncertain about to what extent changes in LoS-data give the correct order of magnitude of results (sensitivity). This is largely connected to the fact that the value of sensitivity parameter values in the model are set by intuition (and not empirically). It is recommended to further test the model and improve the calibration of the parameters.

The implemented model is a stand-alone application as of today. It uses RTM output data ("post-processing") without sending data back to RTM and without passing data on to tolls for cost-benefit analysis. This can lead to inconsistencies. After the model has been tested better, one should evaluate to what extent the model can be integrated into RTM model system.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Denne rapporten er en del av prosjekt «Endring av valg av reisetidspunkt («avrop 20») innenfor rammeavtale for etablering av etterspørselsmodell for korte personreiser.

Prosjektet gikk ut på å gjennomføre en begrenset mulighetsstudie for ulike løsninger. I tillegg skulle en forsøke å implementere en ny modell for å kunne forskyve etterspørselen fra de regionale transportmodeller, RTM, mellom enkelttimer gitt endring i transporttilbudet.

Denne rapporten beskriver foreslått modell og dens implementering som et post-proseserings-verktøy for RTM.

Deler av rapporten er veldig teknisk og forutsetter kjennskap om transportmodeller og statistisk modellering.

1.2 Utgangssituasjon i RTM

Den regionale transportmodellen, RTM, er en statisk modell innenfor forhåndsbestemte tidsperioder. Mens etterspørselsmodellen i RTM-systemet, Tramod_By, predikerer reise-frekvens, transportmiddelvalg og destinasjonsvalg, kan den ikke predikere valg av avreisetidspunkt. Modellen kjøres enten med 1, 2 eller 4 tidsperioder. Når man kjører modellen med flere tidsperioder kan man ta hensyn til at transporttilbudet varierer i de ulike tidsperiodene (for eksempel at reisetiden med bil er høyere i rushperioden pga. kø).

I og med at den nye RTM-versjonen (versjon 4.1.1) innførte egne parametere for reisetid i kø, har behovet for å kjøre modellen i 4 tidsperioder økt. Det er gjenspeilt i retningslinjer til NTP-beregningene der det sies at «alle beregninger må derfor gjøres kapasitetsavhengig, og med flere tidsperioder» (Kleven 2018).

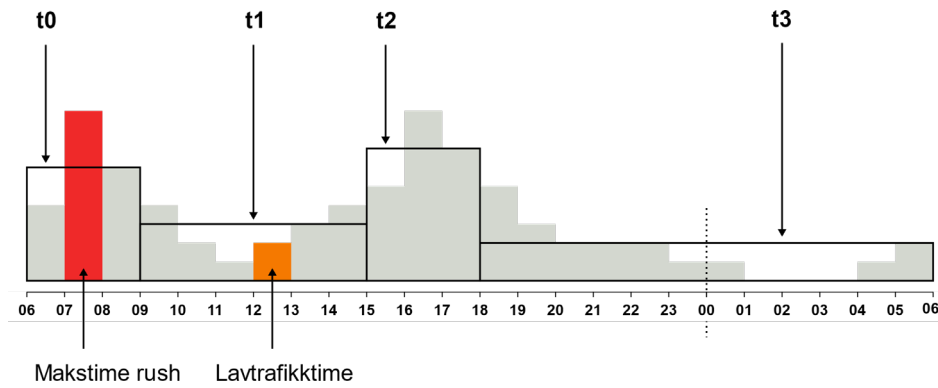
En begrensning i RTM ligger i at fordelingen av reiser (totalt antall reiser før oppsplitting på transportmidler) på tvers av tidsperioder, og mellom timer innad i tidsperiodene, styres av faste fordelinger, uavhengig av transportkostnader og transporttilbud (LoS-data).

I forbindelse med noen analyser, spesielt i byområder, er det ønskelig å kunne beregne forventede effekter på valg av reisetidspunkt, særlig for biltrafikk. Dette kan typisk handle om at restriktive tiltak rettet mot reiser i rush overfører trafikk til perioder utenom rush, eller fra makstimen til skuldertimene.

I figuren nedenfor (Figur 1-1) indikerer sorte rammer de fire tidsperiodene som det (kan) skilles mellom i RTM/Tramod_By i dag; det vil si morgenerush (t0), midt på dagen (t1), ettermiddagsrush (t2), og kveld/natt/pre-morgenerush (t3). Faste andeler legges til grunn for hvordan trafikkvolumet fordeles på rushtidene og periodene utenom rush (dette er input til Tramod_By).

Makstimen innenfor morgenerush eller ettermiddagsrush skilles også ut ved hjelp av faste andeler (vist ved rød søyle for morgenerush i Figur 1-1). Det samme gjøres også for en time

midt på dagen (oransje søyle). Ved beregning av LoS-data for bil for to ulike trafikksituasjoner legges det til grunn etterspørselsmatrisene for disse to timene. Tilbudsmatrisene som skal legges til grunn i etterspørselsmodellen, for reiser i rush, veies så sammen med faktorer som spesifiseres for hver reisehensikt.



Figur 1-1: Fordeling av trafikken over døgnet på fire tidsperioder.

2 Ambisjonsnivå og anvendelsesområde for foreslått modell

2.1 Integrering med RTM

Man kan se for seg ulik grad av integrering mellom foreslått modell og RTM. Vi har vurdert følgende løsninger med ulik grad av kompleksitet:

- 1) Post-prosesseringsverktøy: Dette innebærer at man leser inn OD-matriser fra RTM og fordeler på timer, gitt de reisendes preferanser for ønsket reisetidspunkt og endringer i LoS-data.
- 2) Integreerte modeller i RTM (f.eks. som mellomledd mellom tur-generering og valg av transportmiddel og destinasjon). Fungerer lignende som 1), men sender informasjon videre i modellsystemet.
- 3) Vurdering av større endringer i metode og oppbygging av RTM systemet.
- 4) Anvendelse av eller supplering med andre modeller (altså utenom RTM).

Innenfor de gitte projektrammer var det bare mulig å implementere et post-prosesseringsverktøy. Et hovedfordel med dette er at det ikke krever endringer i kildekoden til RTM. Dette hadde vært nødvendig for løsningsmetode 2) og 3).

En mulighet innenfor løsningsmetode 3) hadde vært å endre reisefrekvensmodellen slik at reisene genereres på timenivå. Dette hadde dog krevet større endringer i oppsettet i RTM og en reestimering av reisefrekvensmodellen.

Det kan nevnes at to andre transportmodeller som er i bruk i Norge, Trenklin (Ranheim 2017) og MATSim (Flügel mfl 2016), kan modellere endring i avreisetidspunkt. Videreutvikling og bruk av disse modeller faller under løsningsmetode 4). Dette er ikke diskutert videre i foreliggende rapport.

2.2 Utledning av adferdsparametere

Adferdsparametere i modellen representerer trafikantenes preferanser. I en modell om forskyvning av reisetid er det to typer preferanser som er utslagsgivende:

- a) Preferanse om reisetidspunkt (avreisetidspunkt eller ankomsttid) gitt dagens transporttilbud. På et aggregert nivå sier disse preferansene noe om døgnfordelingen i referansescenariet.
- b) Preferanser (tilbøyeligheten, følsomheten) til å endre reisetidspunkt gitt endringer i transporttilbudet. På et aggregert nivå sier disse preferansene noe om størrelsen på endringen i reisetidspunkt i tiltaksscenarioet.

Modellen skal reflektere at disse preferanser, både a) og b), avhenger av reisehensikt. Arbeidsreiser utføres i tiden før og etter arbeidstiden, noe som fører til typiske topper i

døgnfordelingen mellom kl 6-9 og mellom kl 15-18 når man aggregerer adferden over trafikantene. Intuisjonen sier også at arbeidsreiser er mindre tilbøyelige til å bli endret når reisetilbudet endres, da man i større grad må forholde seg til avtalt oppmøtetid. Det sagt kan også flere fritidsaktiviteter være låst i tid, spesielt i forbindelse med henting/levering av barn.

Modellen skal også reflektere at preferanser vil variere med relasjon (OD-par). Dette gjelder både døgnfordelingene i referansesituasjonen og tilbøyeligheten til å endre reisetidspunkt ved endringer i tiltakssituasjonen.

Preferanser for a) kan kartlegges (aggregert) ved å se på empiriske døgnfordelinger basert på reisevanedata og/eller (tidsdifferensierte) telledata. Ulempen med telledata er at disse er på snittnivå i stedet for relasjonsnivå, og at man ikke kan skille mellom reisehensikter. Ulempen med reisevanedata er at antall observasjoner for mange grunnkretspar er svært lite. I et tidligere prosjekt har man estimert generiske døgnfordelinger for 3 reisehensikter (arbeid, tjenester og øvrige reiser) (Flügel mfl 2017). I dette prosjektet var variasjonen i døgnfordelingen på tvers av relasjoner (i dette tilfelle togstasjoner) modellert basert på informasjon om reisetid og pendlerstrømmer. Pendlerstrømmene viste seg som gode forklaringsvariabler for den relative størrelsen mellom morgen- og ettermiddagsrush (for eksempel er trafikken i morgenerushet på relasjonen fra Moss til Oslo S relativt stor sammenlignet med i ettermiddagsrushet, mens det omvendte er tilfelle når vi ser motsatt vei fra Oslo S til Moss. I dette prosjektet bruker vi de matematiske sammenhengene for døgnmodellene som foreslått i Flügel mfl 2017.

Når det gjelder følsomheten til å endre avreisetidspunkt gitt endringer i transporttilbudet, så var det innenfor projektrammen ikke mulig å bruke empiriske tall. Det er heller ikke opplagt hvor disse tallene skulle komme fra og hvilken metode man skulle ha brukt for å estimere de relevante parameterne. Bruk av data fra naturlige eksperimenter (tunnelstengninger) eller bruk av stated-preference metode kunne ha vært en løsning, men ingen av delene var realistisk i dette prosjektet. Derfor er alle adferdsparameterne knyttet til tilbøyeligheten/følsomheten til å endre avreisetidspunkt skjønnsmessig kalibrert.

2.3 Sammenligning med tidligere modell

Et tidligere post-prosesserings-verktøy for timeforskyving er beskrevet og anvendt i Rekdal mfl (2012). Etter vår kunnskap har modellen ikke blitt regelmessig brukt i etatene eller i forsker/konsulentmiljø.

Sammenlignet med dette verktøyet har modellen vi nå har laget en del metodiske forbedringer. Disse er kort sammenstilt i Tabell 2-1.

Tabell 2-1: Hovedforskjeller mellom gammel modell og ny foreslått modell.

Modellvariant	Rekdal mfl 2012	Ny modell
Fordeling på hvilke timer	3 timer innenfor rush (resten av døgn uendret)	24 timer
Tillater overføring fra rush til ikke-rush (og vice versa)	Nei	Ja
Fordeling av timer i referansescenario	Eksogent kalibrert	Basert på pendlerindeks og parametere fra døgnmodellen i Flügel mfl 2017
Sensitivitet av endringer	Inndeling i elastisk og uelastisk etterspørsel (bare elastisk kan forskyves)	Styres av parametere (omega og beta), som kan variere med relasjon og reisehensikt

Begge modeller bruker endringer i generalisert kostnad (GK) innen en gitt tidsperiode for å beskrive omfanget av endring i transporttilbudet. En forskjell ligger i at foreslått modell bruker relative endringer i GK mens modellen til Rekdal er basert på absolutte endringer.

2.4 Modellens anvendelsesområde

Foreslått modell er generisk i den forstand at den kan brukes på alle delområder i Norge. Foreløpig implementering er gjort for Oslo/Akershus, men modellen kan tilsvarende implementeres for andre delområder uten å måtte endre de matematiske ligninger eller parameterverdier. Implementeringen (se avsnitt 4.2) er gjort i RTM23+, med mindre justeringer i koden kan modellen også implementeres for andre delområder.

Modellen kan også brukes for alle typer transportmidler og alle beregningsår. Ved bruk for framtidige beregningsår ligger det en implisitt antakelse om at de underliggende preferanser er konstante over tid. Den implementerte modellen er tilpasset bilfører, men kan omskrives til å gjelde alle transportmidler.

Mens den matematiske modellen ikke har noen begrensning på reiselengde så er modellen per i dag kun implementert for etterspørselsdata fra RTM, altså for reiser under 70 km. Det ville kreve noe mer omfattende endringer i koden for å kunne anvende modellen for NTM6.

Kalibreringen av døgnfordelinger i modellen bruker parameterverdier direkte fra Flügel mfl (2017). I Flügel mfl gjelder fordelingen for ankomsttid. Når man heller vil modellere avreisetidspunkt (eller reisetidspunkt definert for eksempel som medianverdi av tidspunktene reisen foregår) kan parameterne α^{arbeid} , α^{tje} , α^{andre} med fordel justeres noe ned. For korte reiser vil forskjellen dog ikke være veldig stor.

Det er prinsipielt ingen grense for hvor store endringer i GK (og underliggende LoS-data) modellen kan beregne effekten av. Videre testing bør se nærmere på i hvilket område modellen gir rimelige resultater. Siden implementeringen av modellen legger til rette for enkel endring av parameterverdier, bør det være relativt lett å kalibrere modellen slik at det gir mer rimelige resultater.

Modellen kan brukes for ulike typer problemstillinger:

- 1) Jeg har kjørt RTM med 1 tidsperiode (døgnmodell) og vil gjerne vite hvordan turer fordeler seg i de 24 enkelttimene.
- 2) Jeg har kjørt RTM med 1 tidsperiode (døgnmodell) og vil gjerne vite hvordan turer fordeler seg i de 24 enkelttimene, gitt en forutsetning om at LoS-data varierer mellom enkelttimer (eller perioder); for eksempel pga. tidsdifferensierte bomtakster.
- 3) Jeg har kjørt RTM med 2 eller 4 perioder (med varierende LoS-data) og har lyst til å fordele trafikken på enkelttimer innenfor hver tidsperiode.
- 4) Jeg har kjørt RTM med 2 eller 4 perioder (med varierende LoS-data) og har lyst til å fordele trafikken på enkelttimer innenfor hver tidsperiode gitt at jeg antar ytterligere endringer i LoS-data innenfor periodene.

Metodikken i modellen går ut fra at en har et referansescenario og et tiltaksscenario. For problemstilling 1) og 3), der de to scenariene er sammenfallende, forenkles modellen en god del (se ligning 4 i avsnitt 3.2).

Referansescenariet og tiltaksscenariet vil ofte – men ikke nødvendigvis - være sammenfallende med «nullalternativ» og «tiltaksalternativ» i en nytte-kostnads-sammenheng.

Som eksempel la oss anta at vi vil endre bompengestrukturen fra en fast takst på 30 kr (andre kolonne i Tabell 2-2) til en differensiert takst i morgenrushet som spesifisert i kolonne 3 i Tabell 2-2. I en vanlig kjøring av RTM (med 4 tidsperioder) har vi en utfordring i at vi ikke kan spesifisere tiltaket på timesnivå. Hvis vi vil implementere tidsdifferensiering må vi derfor bruke gjennomsnittverdier til å spesifisere tiltaket i hver av modellens 4 tidsperioder. Disse verdiene kan f.eks. beregnes ved å vekte tiltakets kostnad i hver time med trafikkmengde. Dette kan f.eks se ut som illustrert i kolonne 4 i Tabell 2-2. Merk at kjøring av denne modellen sannsynligvis vil medføre at den totale bileterspørselen går ned sammenlignet med nåsituasjonen, siden flere bilister får en økning i bompenger.

Tabell 2-2: Eksempel på en analyse av tidsdifferensiert bomstruktur.

Tidsperiode	Nåsituasjon	Tiltak som skal testes, differensiert takst i morgenrush	Implisitt etterspørselsmodellering i RTM med 4 tidsperioder	Anbefalt spesifisering av tiltak i vår modell
KI 4-5	30 kr	10 kr	13 kr	Fra 30 til 10
KI 5-6	30 kr	15 kr	13 kr	Fra 30 til 15
KI 6-7	30 kr	25 kr	40 kr	Fra 30 til 25
KI 7-8	30 kr	50 kr	40 kr	Fra 30 til 50
KI 8-9	30 kr	40 kr	40 kr	Fra 30 til 40
KI 9-10	30 kr	20 kr	15 kr	Fra 30 til 20
KI 11-10	30 kr	10 kr	15 kr	Fra 30 til 10

Ved anvendelse av foreslått modell så anbefaler vi å se bort fra den nødvendige forenklingen i bomtakstspesifisering i RTM og å spesifisere tiltaket som forskjellen mellom kolonne 2 og 3. Vi anbefaler å aggregere etterspørselen fra RTM før den fordeles på enkelttimer med modellen. Dette vil føre til en viss inkonsistens mellom de relative etterspørselstall på tvers av tidsperioder i RTM og de relative etterspørselstall som utdata fra foreslått modell.

3 Matematisk beskrivelse av modellen

3.1 Hovedmodell

Hovedmodellen består av 5 elementer:

- Sannsynlighetsfunksjoner $P_t^{OD,H}$ basert på observert nytte $V_t^{OD,H}$ for enkelttimer $t = \{1, 2, \dots, 24\}$, OD-relasjon og reisehensikt H
- ΔGK_k^{OD} er den relative endring i generaliserte reisekostnader mellom policyscenario (P) og referansescenario (R) for $k=5$ enkelttimer («nabotimer») der k er $\{t-2, t-1, t, t+1, t+2\}$.
- Beta-parameterne β_k som beskriver de marginale effekter av endringer i GK for hver nabotime (det brukes to nabotimer «ned» $t-2$ og $t-1$, og to nabotimer «opp» $t+1$ og $t+2$)
- Sensitivitetsparameter $\omega^{OD,H}$ («omega») som kan avhenge av OD-relasjon og reisehensikt
- Konstantledd $C_t^{OD,H}$ som beskriver døgnfordelingen i et scenario uten endringer i GK (altså typisk i referansescenariet)

De matematiske sammenhenger er slik:

$$(1) P_t^{OD,H} = \frac{e^{V_t^{OD,H}}}{\sum_{t=1}^{24} e^{V_t^{OD,H}}}$$

Der

$$(2) V_t^{OD,H} = C_t^{OD,H} + \omega^{OD,H} * \sum_{k=t-2}^{k=t+2} (\beta_k * \Delta GK_k^{OD})$$

Med

$$(3) \Delta GK_k^{OD} = \frac{GK_k^{OD,P} - GK_k^{OD,R}}{GK_k^{OD,R}}$$

Merk at (2) forenkler seg i referansescenariet, ($GK_k^{OD,P} = GK_k^{OD,R}$) til:

$$(4) V_t^{OD,H,R} = C_t^{OD,H} .$$

Vi har ikke noe empirisk erfaringstall på β_k men det kan forventes at

$$(5) -\beta_t > (\beta_{t-1}, \beta_{t+1}) > (\beta_{t-2}, \beta_{t+2}) > 0 > \beta_t$$

Et forslag på hvordan konstantledd og omega-parameterne kan fastlegges er beskrevet i avsnitt 3.2 og 3.3.

3.2 Konstanttermer utledet fra døgnfordelingsmodellen

3.2.1 Spesifisering av døgnfordelingene

Fordelingen av reiser i enkelttimer («døgnfordelingen») vil i utgangspunktet (dvs. før vi eventuelt gjør endringer i GK) avhenge av fordelingen av ønsket reisetidspunkt. For arbeidsreisen vil fordeling av ønsket reisetidspunkt være korrelert med pendlerstrømmen. For en relasjon OD der det er relativt mange som bor i O og jobber i D (sammenlignet med de som bor i D og jobber i O) vil det være relativt mange reiser i morgenrushet i forhold til i ettermiddagsrushet.

Som foreslått i Flügel mfl 2017 modellerer vi døgnfordelingene som en kombinasjon av to normalfordelinger (for tjenestereiser brukes 3 normalfordelinger, se ligning 11 lenger ned).

$$(6) f^{OD,H}(t) = \frac{\lambda_1^{OD,H} N(t; \mu_1^{OD,H}, \sigma_1^H) + (1 - \lambda_1^{OD,H}) N(t; \mu_2^{OD,H}, \sigma_2^H)}{K^{OD,H}}$$

Med

$$(7) K^{OD,H} = \sum_{t=1}^{24} \lambda_1^{OD,H} N(t; \mu_1^{OD,H}, \sigma_1^H) + (1 - \lambda_1^{OD,H}) N(t; \mu_2^{OD,H}, \sigma_2^H)$$

Normalisering med $K^{OD,H}$ gjøres slik at den diskrete sannsynlighetsfordelingen (over 24 enkelttimer) summeres opp til 1, dvs. $\sum_{t=1}^{24} f^{OD,H}(t) = 1$

N representerer normalfordelingen med lokasjonsparameter μ og varians σ , og λ beskriver hvordan de to normalfordelingene vektes mot hverandre. Normalfordelingen med momentene $\mu_1^{OD,H}, \sigma_1^2$ representerer fordelingen i morgenrush mens normalfordelingen med $\mu_2^{OD,H}, \sigma_2^2$ representerer fordelingen i ettermiddagsrush. Når $\lambda_1^{OD,H}$ (som har verdi mellom 0 og 1) er stor vil det bety at det er relativt mange reiser i morgenrush sammenlignet med ettermiddagsrush. Dette varierer naturligvis på tvers av OD-par.

Lokasjonsparameterne $\mu_1^{OD,H}$ sier når (til hvilket klokkeslett) morgenrushet har sin topp, og $\mu_2^{OD,H}$ forteller når man har toppen i ettermiddagsrush. Per definisjon er $\mu_1^{OD,H} < \mu_2^{OD,H}$

Sigma-parameterne sier noe om hvor «bredt fordelt» rushtidene er.

Døgnmodellen i Flügel mfl 2017 er estimert basert på RVU. I forkant ga en deskriptiv analyse av RVU-data følgende empiriske indikasjon:

- Det er større spredning i ankomsttid om ettermiddagen enn om morgenen ($\sigma_2^H > \sigma_1^H$)
- Lengre reisetid mellom stasjonene gjør at ettermiddagstoppen kommer på et senere tidspunkt.
- Den relative pendlerindeksen fungerer som et mål på om komponent én ($\lambda_1^{OD,H}$) eller komponent to ($1 - \lambda_1^{OD,H}$) skal få størst vekt.

De spesifikke funksjonene er delt inn i 3 reisehensikter (arbeidsreiser, tjenestereiser og andre reiser).

Følgende funksjoner er estimert i Flügel mfl (2017).

For arbeidsreiser:

$$(8) f^{OD,Arbeid}(t) = \frac{\lambda_1^{OD,Arbeid} N(t; \mu_1^{Arbeid}, \sigma_1^{Arbeid}) + (1 - \lambda_1^{OD,Arbeid}) N(t; \mu_2^{OD,Arbeid}, \sigma_2^{Arbeid})}{K^{OD,Arbeid}}$$

Der

$$(9) \lambda_1^{OD,arbeid} = \min\{1, \max\{0, \gamma_0 + \gamma_1 \ln RPI^{OD}\}\}.$$

Og

$$(10) \mu_2^{arbeid} = \alpha^{arbeid} + \beta^{arbeid} * T^{OD}$$

RPI^{OD} er den relative pendlerindeks og T^{OD} er reisetiden mellom O og D.

Den relative pendlerindeksen er gitt som raten mellom antall pendlere i retning OD og i retning DO.

$$(11) RPI^{OD} = \frac{PI^{OD}}{PI^{DO}}.$$

De følgende parametere anbefales basert på de estimerte verdier i Flügel mfl (2017).¹

Tabell 3-1: Parameterverdier i døgnfordelinger for arbeidsreiser.

Parameter	Verdi
γ_0	0,43
γ_1	0,1
μ_1^{arbeid}	8
α^{arbeid}	16
β^{arbeid}	0,0083
σ_1^{arbeid}	1
σ_2^{arbeid}	2

For tjenestereiser fører funksjonsantakelsen med 2 normalfordelinger til for lite trafikk i tiden mellom rushtidene. Derfor innføres en tredje normalfordeling med faste momenter og vekter.

$$(12) f^{OD,Tje}(t) = \frac{\lambda_1^{OD,Tje} N(t; \mu_1^{OD,Tje}, \sigma_1^{Tje}) + (1 - \lambda_1^{OD,Tje} - \lambda_0^{Tje}) N(t; \mu_2^{OD,Tje}, \sigma_2^{Tje}) + (\lambda_0^{Tje}) N(t; \mu_0^{OD,Tje}, \sigma_2^{Tje})}{K^{OD,Tje}}$$

Med

$$(13) K^{OD,Tje} = \sum_{t=1}^{24} (\lambda_1^{OD,Tje} N(t; \mu_1^{OD,Tje}, \sigma_1^{Tje}) + (1 - \lambda_1^{OD,Tje} - \lambda_0^{Tje}) N(t; \mu_2^{OD,Tje}, \sigma_2^{Tje}) + (\lambda_0^{Tje}) N(t; \mu_0^{OD,Tje}, \sigma_2^{Tje}))$$

¹ Parameterne er delt med 60 for å komme fra minuttnivå (som i den opprinnelige døgnmodellen) til timenivå). Det gjelder ikke γ_0 og γ_1 som gjelder vektene.

Der

$$(14) \quad \lambda_1^{OD,Tje} = \min\{0,7, \max\{0, \gamma_0 + \gamma_1 \ln RPI^{OD}\}\}.$$

Og

$$(15) \quad \mu_2^{Tje} = \alpha^{Tje} + \beta^{Tje} * T^{OD}$$

(14) og (15) tilsvarer (9) og (10), med unntak av at maksimalverdien til $\lambda_1^{OD,Tje}$ er 0,7 (og ikke 1 som for arbeids- og tjenestereiser). Dette for å unngå at $\lambda_2^{OD,Tje}$ blir negativt gitt antakelsen om at $\lambda_0^{tje} = 0,3$

Tabell 3-2: Parameterverdier i døgnfordelinger for tjenestereiser.

Parameter	Verdi
γ_0	0,43
γ_1	0,1
μ_1^{tje}	8
α^{tje}	16
β^{tje}	0,0083
σ_1^{tje}	1
σ_2^{tje}	2
μ_0^{tje}	12
σ_0^{tje}	5
λ_0^{tjen}	0,3

For **andre reiser** brukes igjen to normalfordelinger. I tillegg brukes faste vektorer (slik at parameterne γ_0, γ_1 bortfaller).

$$(16) \quad f^{OD,Andre}(t) = \frac{\lambda_1^{Andre} N(t; \mu_1^{Andre}, \sigma_1^{Andre}) + (1 - \lambda_1^{Andre}) N(t; \mu_2^{OD,Andre}, \sigma_2^{Andre})}{K^{OD,Andre}}$$

Der

$$(17) \quad \mu_2^{Andre} = \alpha^{Andre} + \beta^{Andre} * T^{OD}$$

Tabell 3-3: Parameterverdier i døgnfordelinger for «andre reiser».

Parameter	Verdi
λ_1	0,35
λ_2	0,65
μ_1^{andre}	12
α^{andre}	18
β^{andre}	0,0017
σ_1^{andre}	4,5
σ_2^{andre}	2,8333

3.2.2 Mulig beregning av pendlerindekser

En utfordring med bruk av pendlerindeksen kan være at pendlerdata på grunnkrets-relasjonsnivå kan være 0 i en retning. En løsning er å utvide «influenksområdet» slik at også nabogrunnkretser brukes i beregning av indeks PI^{OD} (og PI^{DO}) som inngår i ligning 11. Et forslag tar en vektet sum av alle grunnkretser i området for O og D, der vektene kan være som foreslått i Tabell 3-4.

Tabell 3-4: Vektene som foreslås til indeksberegning av pendlerdata.

Distanse fra nabogrunnkretser	Foreslått vekt
≤ 2 km	1
> 5 og ≤10 km	0,8
> 10 og ≤20 km	0,4
> 20	0

Som beskrevet i avsnitt 4.2.3 er ikke dette implementert i foreløpig versjon av modellen.

3.2.3 Spesifisering av konstantledd for modellen

Vi kan sette inn ligning (4) i ligning (1) for å få fordelingen av trafikken i referansescenariet:

$$(18) \quad P_t^{OD,H,R} = \frac{e^{C_t^{OD,H}}}{\sum_{t=1}^{24} e^{C_t^{OD,H}}}$$

Når vi sammenligner (18) med ligning (6), ser vi at ligningene er sammenfallende hvis vi setter $e^{C_t^{OD,H}} = f^{OD,H}(t)$

Vi kan dermed gjenskape døgnfordelingen i modellen ved å sette konstantleddene lik

$$(19) \quad C_t^{OD,H} = \ln(f^{OD,H}(t))$$

3.3 Mulig parameterisering av omega-parameter

Omega-parameterne i (2) tolkes som generell følsomhet for å skifte avreisetidstid.

Mens beta-parameterne i (2) er spesifisert uavhengig av OD-par og reisehensikt H , er $\omega^{OD,H} > 0$ avhengig av OD og H (men uavhengig av t). Parameteren kan tenkes å variere med type arbeidsplasser i destinasjonssonen (for eksempel vil en sone med høy andel jobber på sykehus få en lav $\omega^{OD,H}$) og med reisehensikt (f.eks. vil fritidsreiser ha en større $\omega^{OD,H}$ enn tjeneste- og arbeidsreiser).

Variasjonen kan for eksempel modelleres slik:

$$(20) \quad \omega^{OD,H} = e^{(\theta^H + \sum_{l=1}^L \theta_l * X_l^P)}$$

Der konstantleddet θ^H_0 avhenger av reisehensikt (men ikke OD-par). Siden arbeids- og tjenestereiser vanligvis er mindre fleksible enn fritidsreiser bør $\theta^{Andre}_0 > \theta^{Arbeid}_0$.

X er en vektor (indeksert med l) for sonedata på destinasjonen D og θ_l er tilsvarende parameter. I X -vektoren bør det tas med alle relevante variabler (eller indeksverdi basert på ulike variabler) som vil påvirke den generelle følsomheten for å skifte avreisetidstid gitt endringer i GK.

Det foreslås en eksponensialfunksjon for å unngå at $\omega^{OD,H}$ blir null eller negativ. Dette er også slik det er implementert i foreløpig modell (se ligning 21).

4 Foreløpig implementering av modellen

4.1 Testimplementering i Excel

Den matematiske modellen i kapittel 3 ble først implementert i Excel for 2 reisehensikter og 3 OD-par, og bruk av fiktive etterspørselsdata og antakelser om GK.

Hovedhensikten med Excel-implementeringen var å få en test av mekanismen bak modellen og for å kunne kalibrere beta-parameterne og teste noen funksjoner for omega-parameteren.

Det førte til følgende foreløpige verdier for beta-parameterne.

Tabell 4-1: Vektene som foreslås for beta-parameterne.

Parameter	Verdi
Beta t-2	0,01
Beta t-1	0,1
Beta t	-1
Beta t+1	0,1
Beta t+2	0,01

4.2 Implementering i Python

Løsningen som er etablert er sammensatt av tre applikasjoner; to hjelpeapplikasjoner og en hovedapplikasjon. Virkemåte, input og output er beskrevet under. Merk at detaljer knyttet til dataflyt, prinsipper for argumenter på kommandolinje, samt graden av objektorientering, selvsagt kan tilpasses når/hvis beregningene skal integreres i RTM-systemet.

Beregningene i løsningen som foreligger forutsetter at mappen «\calculated» eksisterer (parallelt med applikasjonene), og at modulen «omx» er installert og tilgjengelig for bruk med «import omx» i Python-programmene.

4.2.1 Hjelpeapplikasjon 1: Summér turmatriser fra Tramod_By

Dette er applikasjonen «summer_over_tidssoner_mm.py» (ca 150 linjer).

Applikasjonen leser turmatriser fra resultatfilen fra Tramod_By, og aggregere opp til matriser som er uavhengig av tidssone, for et valgt transportmiddel (CD, CP, PT, BK eller WK²). Videre legges det til hjemturer, og Leg-matrisene fordeles på de reisehensiktene (arbeid, tjeneste, fritid, hente/levere, andre private). For å fordele Leg-turene tas det utgangspunkt i andeler for de reisehensiktene, til hver enkelt destinasjon.

² CD: bilfører, CP bilpassasjer, PT: kollektiv; BK: sykkel og WK: gange

I vårt arbeid og testkjøringer legger vi til grunn bilførerturer, CD. Bil har altså hatt hovedfokus, men løsningen kan også tilpasses beregninger for kollektivtransport.

Input:

1. Mappenavn (resultatmappe fra Tramod_By) som inneholder modellert etterspørsel «tb2-turer.omx»
2. Tramod_By transportmiddel (CD, CP, PT, BK eller WK)

Output (automatisk filnavn):

- Fil med etterspørselsmatriser:
«tb2-turer-summert-med-legs-og-returer-<mode>.omx»

Eksempel:

- Kommando: `summer_over_tidssoner.py testdata\\ref CD`
- Output: «tb2-turer-summert-med-legs-og-returer-CD.omx», plassert i samme mappe som angitt i (1)

Hensikten med å aggregere over tidssoner er å produsere input til applikasjonen for beregning av endring i reisetidsrom; den applikasjonen tar utgangspunkt i turer for hele døgnet, og etablerer en døgnfordeling for referansesituasjonen. For en modell satt opp med fire tidssoner har vi i utgangspunktet fire matriser i «tb2-turer.omx», for hver reisehensikt.

For eksempel:

- Arbeid_CD_0
- Arbeid_CD_1
- Arbeid_CD_2
- Arbeid_CD_3

Etter aggregering over tidssoner vil «tb2-turer-summert-med-legs-og-returer-CD.omx» inneholde matrisene:

- VRT_Arbeid_CD
- VRT_Tjeneste_CD
- VRT_Annet_CD

Merk at matrisene i «tb2-turer-summert-med-legs-og-returer-<mode>.omx» (med legs og returer) for ordens skyld gis prefiks «VRT» («valg av reisetidspunkt»), for å skille dem fra de tradisjonelle matrisene i Tramod_By.

Applikasjonen vil fungere etter hensikten uavhengig av om Tramod_By er kjørt med 1, 2 eller 4 tidssoner. Merk at applikasjonen må kjøres selv om Tramod_By-resultatene i utgangspunktet er på 1 tidssone (døgn).

4.2.2 Hjelpeapplikasjon 2: Lag relativ pendlerindeks

Dette er applikasjonen «lag_RPI.py» (ca 60 linjer).

Applikasjonen leser turmatriser for arbeidsreiser fra resultatfilen fra Tramod_By, aggregerer over transportmidler, og beregner så «relativ pendlerindeks» (RPI) som forholdstallet mellom bostedsbaserte turer OD og turer motsatt vei, DO. Merk at laveste verdi på DO settes til $1e-6$, for å unngå divisjon med 0. Videre begrenses beregnet RPI oppad til $1e+6$. Resultatet skrives til matrise i filen «calculated \\mat_RPI.txt».

Input:

- Mappenavn (resultatmappe fra Tramod-by) som inneholder modellert etterspørsel «tb2-turer.omx»

Output (automatisk filnavn):

- Matrise «calculated\\mat_RPI.txt»

Eksempel:

- Kommando: lag_RPI.py testdata\\ref
- Output: «calculated\\mat_RPI.txt»

4.2.3 Hovedapplikasjon: Valg av reisetidsrom

Dette er applikasjonen «VRT_v9.py» (ca 700 linjer).

Merk at applikasjonen forutsetter modulen «omx». Vi har lagt til grunn at beregningene skal gjennomføres for bil («CD»), og at hjelpeapplikasjonen «Summer over tidssoner» er kjørt for mode CD.

Input:

1. Mappe med LoS-data for referanse
2. Mappe med LoS-data for alternativ
3. Mappe med fil «tb2-turer-summert-med-legs-og-returer-CD.omx» med turmatriser fra Tramod_By
4. Sonedatafil med arbeidsplasser (standard «sdat4» for Tramod_By)
5. Fil med øvrige forutsetninger
6. Kode som skal brukes i filnavn for rapportfiler (fulle timefordelte matriser får standard filnavn uten denne koden)

Output

- Timefordelte matriser samt en del annen informasjon skrives til mappen «calculated\\».

Eksempel: VRT_v7.py, med argumenter på kommandolinja:

1. testdata\\ref
2. testdata\\alt2
3. testdata\\alt2
4. testdata\\sdat_4_arb_2014_tilpasset_2aug.txt
5. andre_forutsetninger_vrt.txt
6. alt2

Beregningene er kodet i samsvar med den matematiske beskrivelsen i forrige kapittel. Matrise med relativ pendlerindeks leses fra «calculated\\mat_RPI.txt», og er forutsatt beregnet på forhånd med hjelpeapplikasjon 2. Struktur og hoveddeler i kildekoden er omtrent som følger:

- Definisjon av forutsetninger til døgnfordelingsfunksjonene
- Innlesing av tidsmatrise (fra LoS-data lavtrafikk), til bruk ved beregning av parametere som avhenger av tid
- Beregning av f-funksjonene (24 fulle matriser for hver reisehensikt) i henhold til formel 8, 12 og 16 i forrige kapittel. Disse lagres i arrays med matriser: $f_matriser_{24_arbeid}[t]$, $f_matriser_{24_tjeneste}[t]$ og $f_matriser_{24_andre}[t]$, til bruk senere i koden
- Innlesing av sonedata. Til bruk ved sonespesifikk beregning av gamma (foreløpig kun for arbeidsreiser)

- Beregning av endringer i GK
- Beregning av valg av reisetidspunkt

Forutsatt transporttilbud i hver enkelttime er en essensiell del av forutsetningene til applikasjonen. Spesielt tidsmatriser for bompenger bestemmer forskjeller i GK i referanse og alternativt scenario. Her har vi i utgangspunktet lagt opp til å bruke standard RTM LoS-data for morgenrushtime (trafikksituasjon «0») og lavtrafikk (trafikksituasjon «1»). Dette er selvsagt en grov forenkling, og det bør legges opp til å beregnes LoS-data for flere trafikksituasjoner; spesielt for timen før og etter hver rushtidstopp. I kildekode til hovedapplikasjonen er det lagt opp til å håndtere en slik forbedring. Angrepsmåten går ut på å definere en detaljering; hvordan døgnet 24 timer skal dekkes av LoS-data -forutsetninger. Først defineres «detaljering»:

```
detaljering = [0,0,0,0,0,0,1,2,1,0,0,0,0,0,0,3,4,3,0,0,0,0,0]
```

Her definerer vi 5 grupper av trafikksituasjoner: 0, 1, 2, 3 og 4. Gruppe 0 er tenkt å dekke deler av døgnet som er uten framkommelighetsproblemer og som heller ikke er aktuelle timer for differensiering av bompenger/vegprising (samme nivå for alle timer). Gruppe 1 og 2 er tenkt å dekke morgenrushet, og gruppe 3 og 4 er tenkt å dekke ettermiddagsrushet. Deretter defineres en kobling mellom de fem definerte gruppene over (det kunne også vært et annet antall), og en suffiks som identifiserer tilhørende matriser med LoS-data :

```
matriser_losdata_suffix = ["1","0","0","0","0"]
```

I utgangspunktet er det kun LoS-data med suffiks «0» (rush) og «1» (lav) som er tilgjengelige i RTM i dag. De førstnevnte ligger i fila (for bil) "tb2-los-car-R.omx", og de sistnevnte i fila "tb2-los-car-L.omx". En kode for å velge riktig LoS-data-fil er dermed som følger:

```
if losdata_suffix == "0":
    fil_cd = "tb2-los-car-R.omx"
elif losdata_suffix == "1":
    fil_cd = "tb2-los-car-L.omx"
else:
    print "Feil!"
```

I dagens løsning benytter vi altså kun LoS-data for morgenrushtime og lavtrafikktime, slik disse framstår i RTM. Når/hvis beregningene skal integreres i RTM bør det legges opp til en **høyere oppløsning** i beregning av LoS-data . Sannsynligvis vil det ikke være nødvendig med LoS-data knyttet til hver enkelt av de 24 timene i døgnet, men hvis det skulle gjøres slik måtte koden over tilpasses som følger:

```
detaljering = [0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23]
matriser_LoS-data _suffix = ["0","1","2",..., "23"]
```


Vi kan tenke oss at en forfining i enkelttimer plasseres i fila "tb2-los-car-T.omx" (der T indikerer flere enkelttimer). Valg av fil med LoS-data for bil ville da ganske enkelt være

```
fil_cd = "tb2-los-car-T.omx"
```

i stedet for if-testen over. Ved beregning av GK-uttrykk gjøres det da oppslag i omx-filene basert på LoS-data _suffix, f.eks. slik:

```
"CD_Dist_"+LoS-data _suffix
```

forutsatt at hver time hadde sitt sett med LoS-data. Det ville altså ikke være behov for ytterligere tilpasninger for å kjøre beregningene med LoS-data for enkelttimer.

I testversjonen er det inntil videre forutsatt følgende funksjon for beregning av **sonespesifikk omega** for arbeidsreiser:

$$(21) \quad \omega = \exp(-0.35 - 2.0 * \text{helsesosial} - 1.0 * \text{undervisning})$$

der helsesosial er andel [0,1] arbeidsplasser innenfor helse/sosial (gruppe 70-72 i Tramod_By) og utd er andel [0,1] arbeidsplasser innenfor undervisning (gruppe 60-63). Dette gir et snitt for omega på 0.5 (flatt for alle soner i sonedata). En sone uten arbeidsplasser i noen av de to kategoriene vil få en omega med verdi 0.7. En sone dominert av et sykehus, der sykehuset for eksempel har 97% av arbeidsplassene i sonen, vil få en omega med verdi ca 0.1. Tilsvarende tall for en utdanningsinstitusjon ville være 0.27.

For tjeneste er det brukt fast ikke-sonespesifikk verdi 1.0, og for andre reisehensikter er det benyttet en omega lik 2.0.

For **definisjon av GK-uttrykkene**, og øvrige detaljer i beregningene, henvises det til kildekode. Det sentrale er her valg av tidsverdi og kilometerkostnad.

Merk for øvrig at noen funksjoner/deler av kildekode kan være overflødig/ikke aktiv i praksis, som følge av valg som er gjort underveis i programmeringen. Det er med andre ord potensial for noe **rydding og effektivisering** av koden.

I kapittel 5 kommer vi tilbake til noen **empiriske tester** som er gjennomført i praksis.

4.2.4 Om beregningstid og mulig integrering i RTM

Beregninger er testet på en maskin som på ingen måte er fullspekket etter dagens standard. Beregningstidene er da som følger:

- Hjelpapplikasjon «Summer over tidssoner»: ca 0.5 – 1 minutt
- Hjelpapplikasjon «Lag relativ pendlerindeks»: maks 0.5 minutt
- Hovedapplikasjon: ca 10 minutter

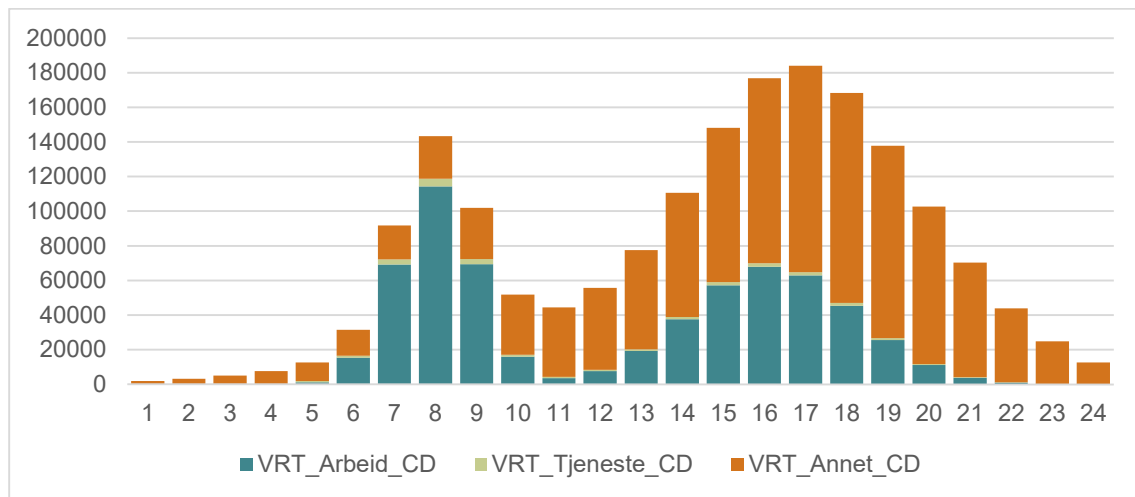
Det vil si ca 10 min for en full beregning, og sannsynligvis raskere. Gjeldende løsning skriver ut en del debug-informasjon i tillegg til de timefordelte etterspørselsmatrisene. Det betyr at ett modellalternativ resulterer i ca 15 Gb med data til mappen «calculated \\». Her er det rom for å begrense datamengden en god del.

5 Empiriske tester

5.1 Kontroll av modellmekanismer

For å verifisere at applikasjonen er kodet riktig, og oppfører seg logisk i forhold til spesifikasjonen i kapittel 3, er det gjennomført kontrollkjøringer med ulike justeringer av inngangsdata. Disse kjøringene kan også fungere som illustrasjoner på modellmekanismene, og gjengis derfor nedenfor. Merk at endringer i LoS-data ikke gjøres med full/konsistent beregning i Emme, men med enkel manipulering av beregnede LoS-data -matriser for en referansesituasjon i RTM23+.

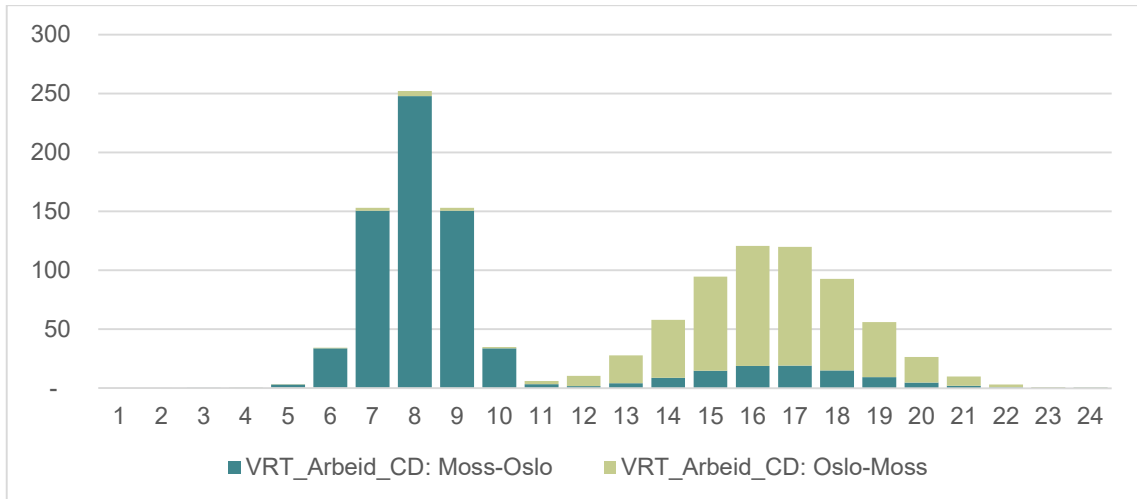
Figur 5-1 under viser modellert døgnfordeling for alle delturer i Tramod-by i RTM23+.



Figur 5-1: Døgnfordeling for bilturer over alle relasjoner i RTM23+, oppsplittet etter reiseb hensikt.

Eksempel 1: Tidsprofil Moss-Oslo versus Oslo-Moss

Relativ pendlerindeks for relasjonen Moss-Oslo er >1 (flere som pendler fra Moss til Oslo enn fra Oslo til Moss). Når vi anvender applikasjonen skal vi dermed forvente en døgnfordeling der morgenrushet er dominert av reiser Moss-Oslo, mens ettermiddagsrushet er dominert av reiser Oslo-Moss. Figur 5-2 nedenfor viser resultater som bekrefter dette.

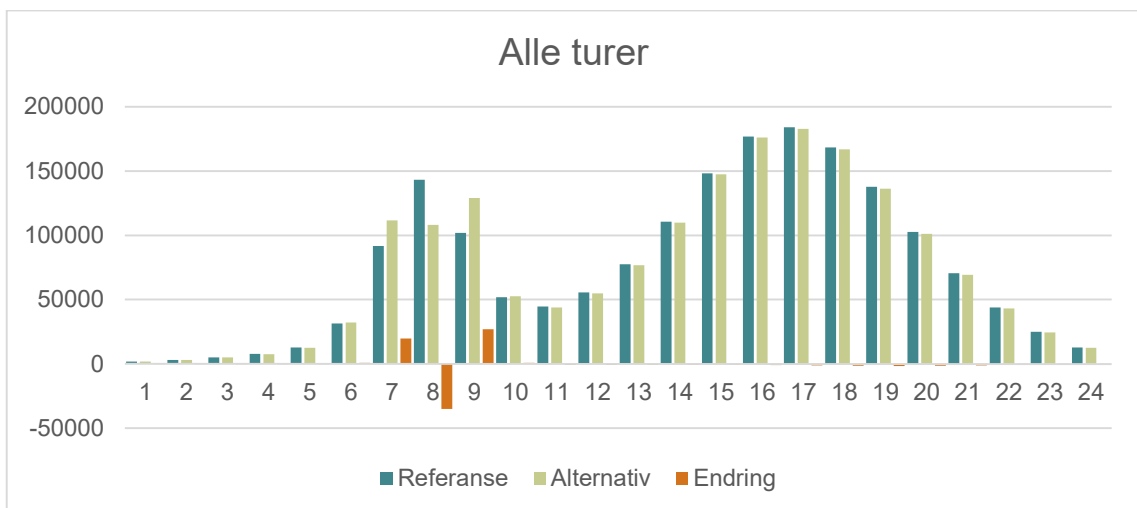


Figur 5-2: Døgnfordeling for arbeidsreiser med bil mellom Oslo og Moss, og Moss og Oslo.

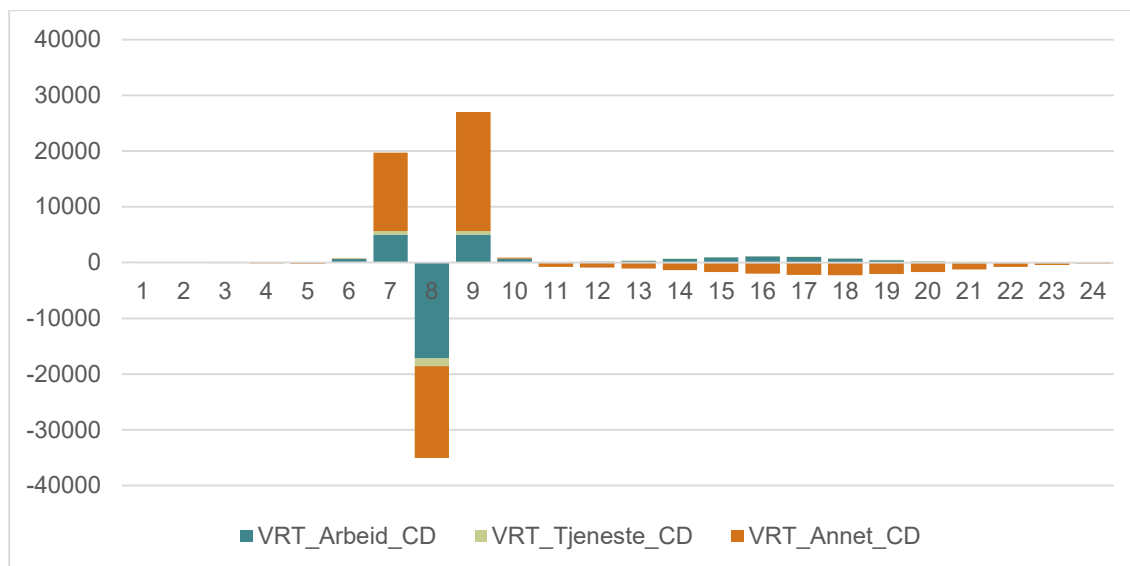
Merk at balansen i figuren over kan være påvirket av forenklingen vi gjør når vi fordeler Leg1, Leg2 og Leg3 på «de rene» reisehensiktene arbeid, tjeneste, fritid, hente/levere og andre private. Dette gjelder også de andre eksemplene under. Før applikasjonen eventuelt tas i bruk i RTM bør det jobbes mer med forutsetningene for fordeling av Leg-turer.

Eksempel 1a: Øker kostnad i makstimen 07-08, +20 kr

Døgnfordelinger for alle reiser, og separate effekter for arbeidsreiser, tjenestereiser og øvrige, indikerer at applikasjonen fungerer etter hensikten. Etterspørsel overføres til begge sider av makstimen (Figur 5-3). Samtidig er det små endringer i øvrige timer. Legg merke til at effekten relativt sett er størst for Andre (Figur 5-4), noe lavere for tjenestereiser og lavest for arbeidsreiser, i tråd med hvordan vi beregner omega avhengig av reisehensikt (samt sonedata i destinasjoner for arbeidsreiser).



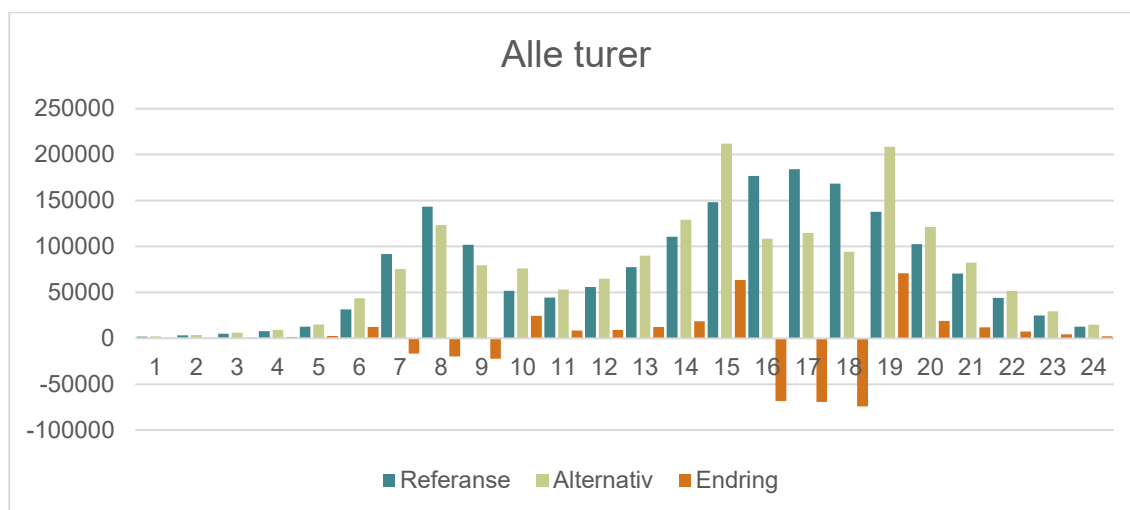
Figur 5-3: Endringer i døgnfordelingen etter en økning av transportkostnaden mellom 7-8 – alle reiser.



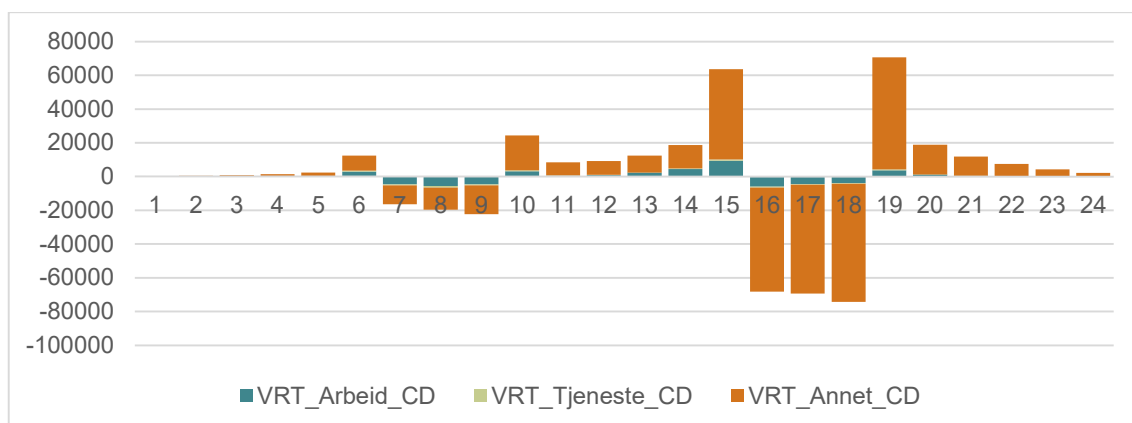
Figur 5-4: Endringer i døgnfordelingen etter en økning av transportkostnaden mellom 7-8 – oppsplittet etter reisehensikt.

Eksempel 1b: Øker kostnad i morgenrushet 06-09 og ettermiddagsrushet 15-18, +20 kr

Døgnfordelinger indikerer at applikasjonen fungerer etter hensikten. Sammenliknet med eksempelet over overføres etterspørsel til både før og etter rushtiden. Vi ser at effekten er større (både absolutt og relativt) i ettermiddagsrushet. Dette henger sammen med at ettermiddagsrushet består av flere fritidsturer («andre reiser»). Fritidsturer antas å være mer følsomme for endringer i LoS-data fordi man har større fleksibilitet til å endre reisetidspunkt.



Figur 5-5: Endringer i døgnfordelingen etter en økning av transportkostnaden mellom kl. 6-9 og 15-18 – alle reiser.



Figur 5-6: Endringer i døgnfordelingen etter en økning av transportkostnaden mellom kl. 6-9 og 15-18 – oppsplitting etter reiseb hensikter.

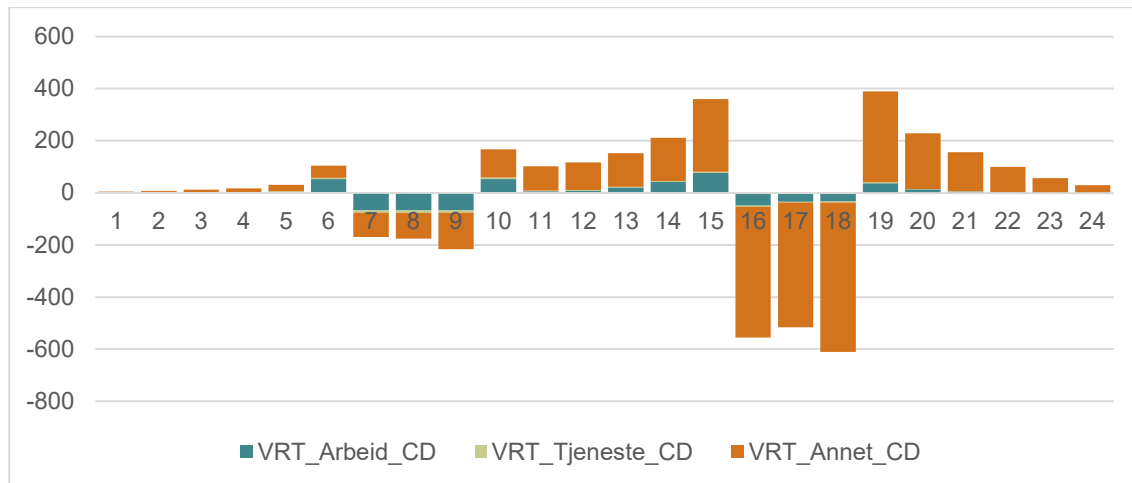
Tabellen nedenfor viser hvordan antall arbeidsreiser med bil til noen utvalgte grunnkretser i Oslo endres i perioden 06-09, med de samme forutsetningene som over. Grunnkretsen som inneholder Ullevål sykehus har en svært høy andel arbeidsplasser innenfor helse/ sosial, mens grunnkretsen som inneholder UiO har en høy andel arbeidsplasser innenfor undervisning. Rundt disse kretsene har vi tatt med nabokretser med et signifikant antall arbeidsreiser. Grunnkretsen markert med Helsfyr er et eksempel på et område uten høy andel i noen av næringskategoriene over. Legg merke til hvordan størrelsen på effekten ser ut til å henge logisk sammen med omega beregnet fra soneinnhold.

Tabell 5-1: Relativ endring i reiser i morgenrush for utvalgte destinasjoner i Oslo.

Grunnkrets	Endring 07-08	
3011406	-4.1 %	
3011501	-6.0 %	
3011503	-1.0 %	
3011504	-0.2 %	m/Ullevål sykehus
3011605	-5.1 %	
3014119	-3.5 %	
3014122	-1.3 %	
3014201	-3.5 %	Helsfyr
3014202	-3.0 %	
3014204	-2.3 %	
3014205	-1.4 %	
3014206	-3.0 %	
3014207	-2.9 %	
3014513	-3.4 %	
3014604	-1.3 %	
3014605	-1.0 %	m/UiO Blindern
3014606	-3.5 %	
3014608	-1.9 %	

Eksempel 2: Øker tidsverdien generelt, +20 %

Siden det er mer kø/tidsbruk i rushtidene enn ellers på døgnet får vi her som forventet en omfordeling fra rushtidene til andre reisetidsrom (en motsatt effekt av det vi så med økt kilometerkostnad). Effekten er imidlertid liten i dette eksemplet.



Figur 5-7. Endringer i døgnfordelingen etter en økning i tidsverdien.

5.2 Et eksempel med økte bompenger i RTM23+

Det gjennomføres to modellkjøringer med RTM23+:

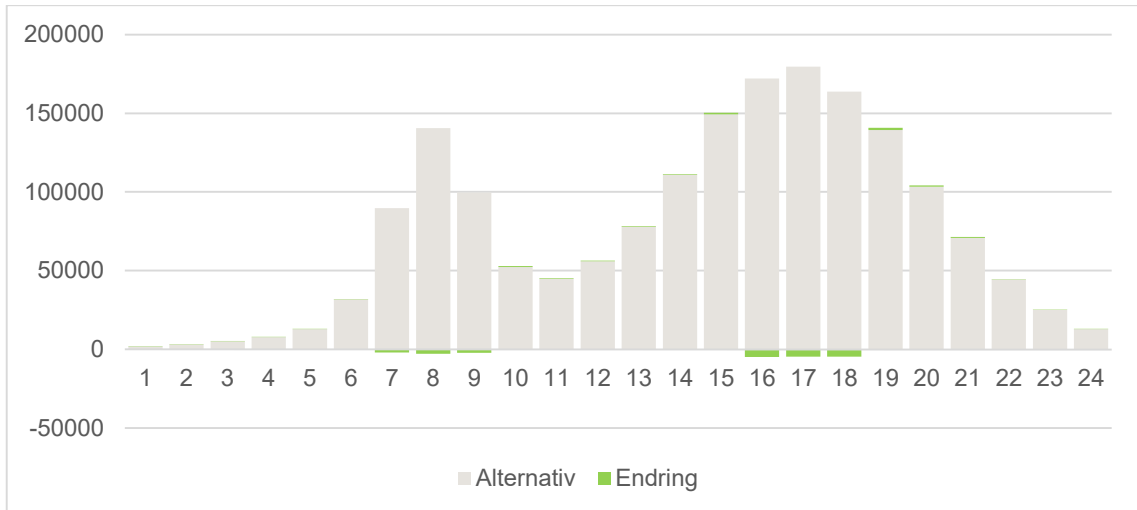
1. Referanse 2014
2. Dobling av bompenger i rushtiden (ellers som referanse)

Begge scenarier er kjørt til likevekt.

RTM23+ med etterspørselsmodellen Tramod_By vil beregne overføring fra bil til øvrige transportmidler når bompengene øker. Det er den nye etterspørselen etter bilturer vi skal fordele på reisetidspunkt ved hjelp av applikasjonen som er utviklet.

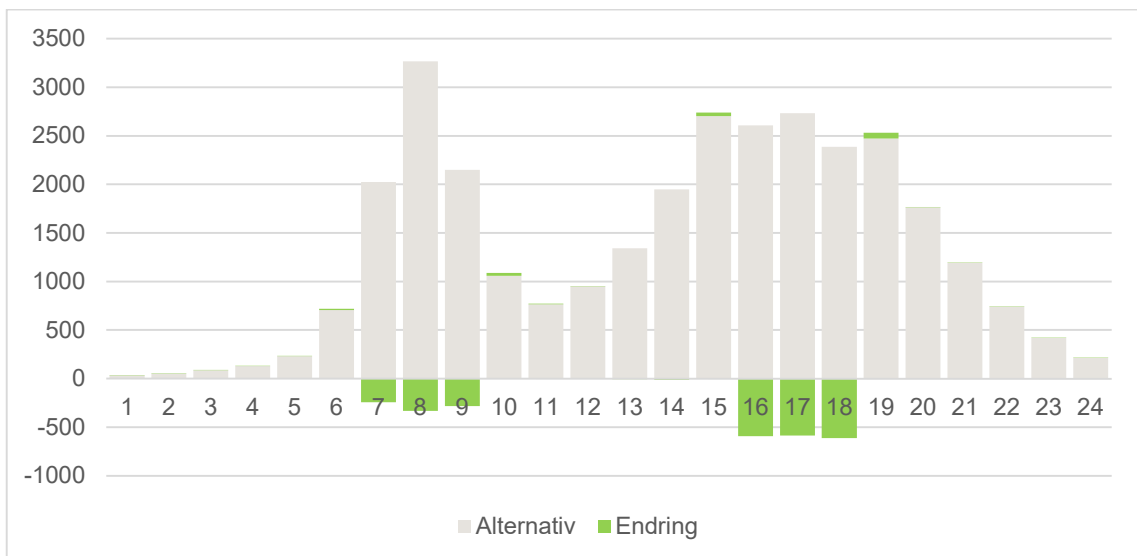
LoS-data fra de to modellkjøringene benyttes som LoS-data for referanse og alternativ i applikasjonen for beregning av endring i valg av reisetidspunkt. Det legges til grunn økte bompenger i hele morgenrushet (time 06,07,08) og hele ettermiddagsrushet (time 15,16,17), og uendret bomtakst i øvrige timer. Foreløpig er det ikke etablert noe opplegg for å beregne differensierte LoS-data innenfor rushtidsperiodene, så det legges til grunn reisetidsmatriser som for makstimen i hele rushtiden (dette er selvsagt en grov forenkling).

I figur 5-8 vises modellert endring i fordeling på reisetidspunkt i hele modellområdet. Omfordeling er indikert med grønt. Forskjellen handler her både om overføring av bilturer til andre transportmidler i etterspørselsmodellen og omfordeling på reisetidsrom. Små endringer, tross doubling av bompenger i rush, handler om at det tross alt bare er en viss andel av bilturene som passerer bomsnittene, samtidig som bomkostnaden i utgangspunktet ikke utgjør en spesielt stor del av GK for berørte reiserelasjoner.



Figur 5-8: Endringer i døgnfordelingen (grønt) etter en dobling av bompenger i rushtiden - alle relasjoner.

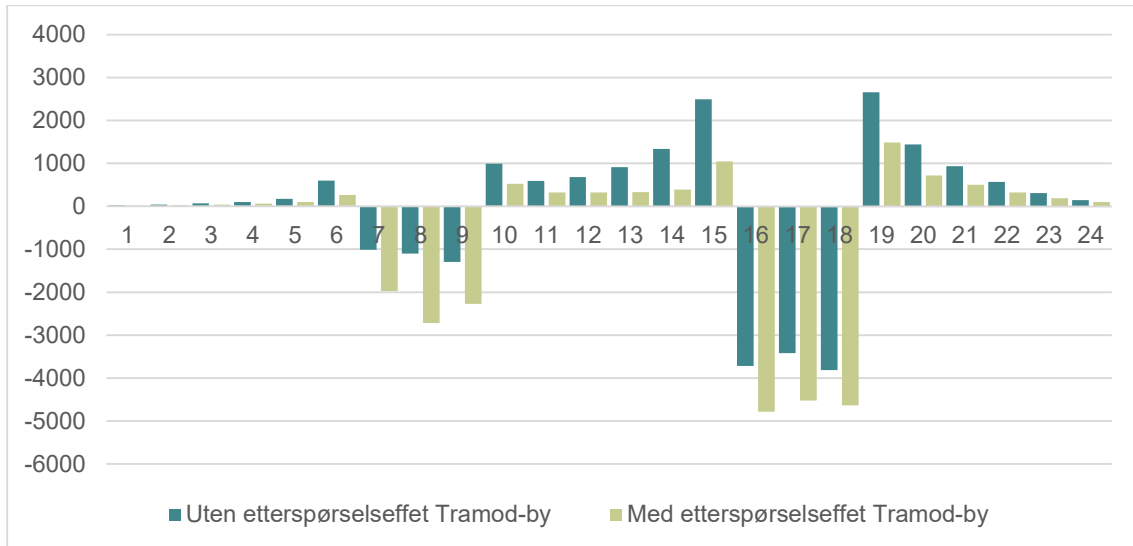
Hvis vi ser på reiserelasjoner Bærum-Oslo (Figur 5-19) blir effektene tydeligere, siden alle bilturer her et utsatt for bompenger.



Figur 5-9: Endringer i døgnfordelingen (i grønt) etter en dobling av bompenger i rushtiden - turer mellom Bærum og Oslo.

Figuren indikerer at etterspørselseffekten (at trafikanter bytter transportmiddel som følge av økte bompenger) er større enn effekten av å forskyve reisetidspunkt. Merk at en annen kalibrering av omega- og beta-parameterne kunne ha ført til en annen konklusjon.

Neste figur (Figur 5-10) viser kun endringer, og er en sammenlikning mellom en situasjon uten beregnet etterspørselseffekt fra Tramod_By (mørk grønn), og en situasjon med slik effekt (lys grønn). I det første tilfellet gjenspeiles de negative søylene i et like stort volum med positive søyler. I det andre tilfellet forsvinner en del volum over til andre transportmidler.



Figur 5-10: Endringer i døgnfordelingen med og uten etterspørselseffekt fra transportmodellen – alle relasjoner Oslo.

6 Diskusjon og mulig videreutvikling

Denne rapporten dokumenterer arbeidet med å etablere en modell for å forskyve reisetidspunkt som følge av endringer i tidsdifferensierte LoS-data. Den matematiske modellen er implementert i Python slik at den kan prosessere etterspørsels-, LoS- og sonedata fra RTM.

Som illustrert i forrige kapittel, virker foreslått modell å gi forventet mønster i resultater:

- Døgnfordelingen i referansesituasjonen har en intuitiv form, både samlet og oppdelt etter reisehensikter.
- Døgnfordelingen for arbeidsreiser er en funksjon av pendlerstrømmene og gir forventet forhold mellom morgen- og ettermiddagsrush på relasjonsnivå.
- Når tilbudet i en tidsperiode forverres, så forskyves etterspørselen til timer før og etter denne tidsperioden. Det omvendte skjer ved en forbedring av tilbudet i en tidsperiode, da blir det flere reiser i denne perioden på bekostning av timene før og etter.
- Følsomheten i endringen avhenger av reisehensikt og type arbeidsplasser ved destinasjonen.

I hvilken grad endringer i LoS-data gir riktig størrelsesorden på resultatene (følsomheten) er vi mer usikker på. Effekten i Figur 5-4 for ettermiddagsrush kan virke (for) stor i og med at en økning av reisekostnaden på 20 kroner fører til at en nokså stor endring i døgnfordelingen. Det er mulig at omega-parametrene for «andre reiser» bør nedjusteres litt. Dette hadde også ført til en annen (og muligens mer rimelig) fordeling mellom andre reiser og arbeidsreiser i morgenrush i Figur 5-3.

Generelt har vi ikke brukt nok tid til å teste modellen og det anbefales en mer grundig jobb på det før modellen brukes i praksis. Det anbefales at modellen kalibreres mot empiriske tall så godt det la seg gjøre. Det bør også testes om absolutte endringer i GK fører til bedre resultater enn relative endringer. Vi har brukt relative endringer, mest fordi disse er enklere å jobbe med og å kalibrere.

Teknisk sett er det enkelt å rekalkibrere modellen (endre tallverdien til parameterne i koden); men det kreves en matematisk forståelse av modellen for å kunne gjøre det på en systematisk måte. Å skrive en brukerveiledning hadde vært en god idé men lot seg ikke gjennomføre innenfor dette prosjektet.

Virkemåten av foreslått modell er basert på enkelturer. Modellen fanger derfor ikke opp avhengigheter mellom tur og retur. For eksempel at man må jobbe et visst antall timer før man kan reise hjem, dvs at man ikke både kan komme senere på jobb OG reise tidligere fra jobb. Merk at modellen jobber med aggregerte tall slik at mulige inkonsistenser på mikro-nivå ikke blir synlig.

Leg-turer i RTM er en utfordring og det brukes en noe forenklet måte å oversette disse til enkelturer. Opplegget for leg-turer bør revurderes ved en oppdatering av modellen.

Videre kan modellen trolig forbedres med en mer detaljert modellering av omega-parametrene. Per i dag inngår det bare to typer arbeidsplasser (helse og utdanning) i beregning av omega-parameteren.

Hvordan den relative pendlerindeksen beregnes kan trolig også forbedres. Anvendt metode virker å fungere greit, men et opplegg som beskrevet i avsnitt 3.2.2 kan være et godt alternativ. Det kan også være fordelaktig å først aggregere i delområder (som i gjennomsnitt består av 10 grunnkretser) og deretter beregne pendlerindeksen.

Et forbedringspotensial ligger også i modellering av hvordan reiselengde påvirker døgnfordelingene. Vi gjentar her at dagens modellering og kalibrering er rettet mot ankomsttider, dvs. at lengre reiser vil gi senere ankomsttider i ettermiddagsrushet (mens ankomsttiden i morgenerushet ikke er påvirket). Hvis resultater fra modellen skal tolkes på valg av avreisetidspunkt (i stedet for ankomsttid), så bør man snu på denne forutsetningen. Hvis resultater fra modellen skal tolkes som reisetidspunkt generelt, så bør en ideelt sett ha med begge effekter (tidligere reisetidspunkt i morgenerush og senere reisetidspunkt i ettermiddagsrush ved økende reiselengde).

Den implementerte modell er en «stand-alone-applikasjon» per i dag. Den bruker utdata fra RTM («post-prosessering») uten å sende data tilbake til RTM og uten å sende data videre til verktøyene for trafikantnytteberegning. Dette kan føre til inkonsistenser. Etter at modellen er testet bedre bør det vurderes i hvilken grad modellen kan/bør integreres i RTMs modell-system.

7 Referanser

- Flügel S, Kern J, Bockemühl F. (2016). *Trondheim*. In: The Multi-Agent Transport Simulation MATSim. Ed. by A. Horni, K. W. Axhausen, and K. Nagel. Ubiquity, London. Chap. 49
- Flügel S., Ingebretsen R., Hulleberg N. (2017): *Modellering av reisebets- og døgnfordeling for togreiser*. TØI rapport 1558/2017
- Kleven O.A. (2018) *Retningslinjer for virksomhetenes transportanalyser og samfunnsøkonomiske analyser*. NTP Sekretariatet for Nasjonal transportplan 2022-2033, datert 11.9.2018
- Ranheim, P.B. (2017) *Trenklin versjon 3 - Dokumentasjon og brukerveiledning*. Jernbanedirektoratet
- Rekdal J., Odd I. Larsen, Christian Steinsland og Wei Zhang (2012) *Eksempler på analyser av køprising med TraMod_by Konsekvenser av tidsdifferensierte bompengesatser i Oslo, Bergen og Trondheim*. RAPPORT 1208, Møreforskning

Transportøkonomisk institutt (TØI)

Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning

TØI er et anvendt forskningsinstitutt, som mottar basisbevilgning fra Norges forskningsråd og gjennomfører forsknings- og utredningsoppdrag for næringsliv og offentlige etater. TØI ble opprettet i 1964 og er organisert som uavhengig stiftelse.

TØI utvikler og formidler kunnskap om samferdsel med vitenskapelig kvalitet og praktisk anvendelse. Instituttet har et verrfaglig miljø med rundt 90 høyt spesialiserte forskere.

Instituttet utgir tidsskriftet Samferdsel på internett og driver også forskningsformidling gjennom TØI-rapporter, artikler i vitenskapelige tidsskrifter, samt innlegg og intervjuer i media. TØI-rapportene er gratis tilgjengelige på instituttets hjemmeside www.toi.no.

TØI er partner i CIENS Forskningscenter for miljø og samfunn, lokalisert i Forskningsparken nær Universitetet i Oslo (se www.ciens.no). Instituttet deltar aktivt i internasjonalt forsknings-samarbeid, med særlig vekt på EUs rammeprogrammer.

TØI dekker alle transportmidler og temaområder innen samferdsel, inkludert trafiksikkerhet, kollektivtransport, klima og miljø, reiseliv, reisevaner og reiseetterspørsel, arealplanlegging, offentlige beslutningsprosesser, næringslivets transporter og generell transportøkonomi.

Transportøkonomisk institutt krever opphavsrett til egne arbeider og legger vekt på å opptre uavhengig av oppdragsgiverne i alle faglige analyser og vurderinger.

Besøks- og postadresse:

Transportøkonomisk institutt
Gautstadalléen 21
NO-0349 Oslo

22 57 38 00
toi@toi.no
www.toi.no