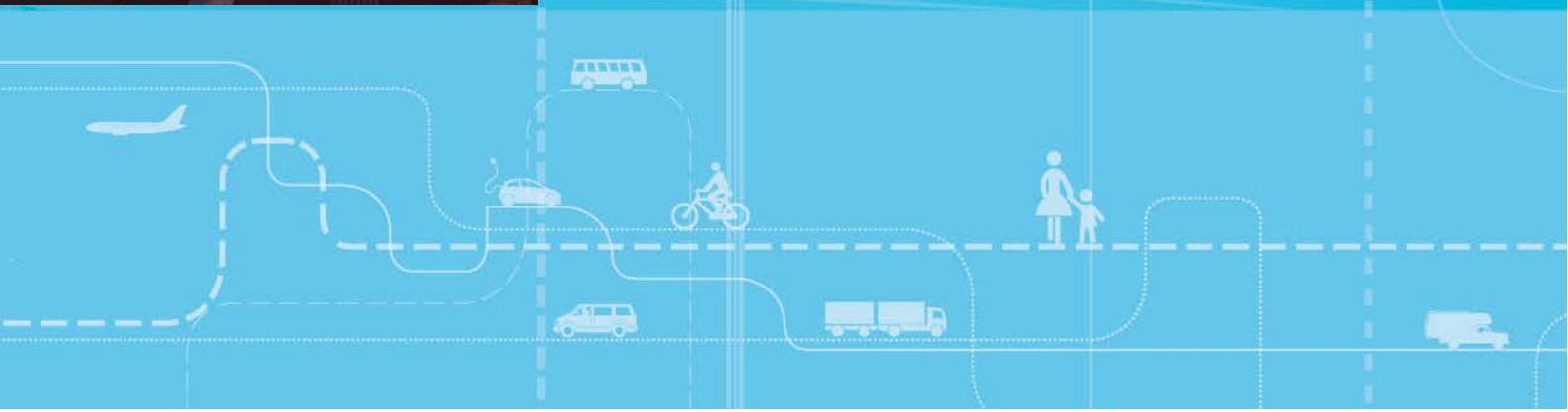


Tidtabellbasert kollektivrutevalg og modellering av korresponderende ruter med CUBE Voyager



Tidtabellbasert kollektivrutevalg og modellering av korresponderende ruter med CUBE Voyager

Chi Kwan Kwong

Forsidebilde: Shutterstock

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: Tidtabellbasert kollektiv rutevalg og modellering av korresponderende ruter. En uttesting med CUBE Voyager

Forfatter: Chi Kwan Kwong

Dato: 06.2018

TØI-rapport: 1633/2018

Sider: 30

ISSN: 0808-1190

ISBN elektronisk: 978-82-480-2143-8

Finansieringskilde: Statens vegvesen Vegdirektoratet

Prosjekt: 4360 – Korresponderende ruter RTM

Prosjektleder: Chi Kwan Kwong

Kvalitetsansvarlig: Anne Madslie

Fagfelt: Transportmodeller

Emneord: Transportmodell
Kollektivkoding
CUBE Voyager
Rutevalgsalgoritme

Sammendrag:

Tidtabellbasert rutebeskrivelse gir mulighet til å modellere ventetid og korrespondanse mellom to kollektivruter på en mer detaljert måte. Tidtabellbasert rutevalg i CUBE Voyager er testet gjennom stiliserte regneeksempler. Metodikken forutsetter at trafikanten tilpasser sitt starttidspunkt, og ventetid ved første holdeplass settes derfor alltid til 0. Dette medfører at tilbudsforbedringer som økt frekvens ikke blir fanget opp i form av kortere ventetid. Regneeksempler med konkurrerende rutealternativer mellom to soner viser at avgangstidspunktet påvirker sammensetningen av attraktive rutealternativer i valgsettet for rutevalgberegningen. Dette kan medføre at beregning av valgsannsynligheten for rutealternativene ikke blir håndtert på en konsistent måte ved en tiltaksberegning. Funnene fra våre tester tilsier at CUBEs håndtering av første ventetid bør videreutvikles før tidtabellbasert rutevalg blir tatt i bruk i regionale transportmodeller (RTM). Forfining av nettverk og rutekoding kan redusere ventetid og påstigningsulempe ved utvalgte holdeplasser i frekvensbasert rutevalg. Denne tilnærmingen gir imidlertid en noe mer komplisert nettverk- og rutekoding.

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

Title: Schedule-based modeling of public transport and modeling of corresponding services with CUBE Voyager

Author: Chi Kwan Kwong

Date: 06.2018

TØI Report: 1633/2018

Pages: 30

ISSN: 0808-1190

ISBN Electronic: 978-82-480-2143-8

Financed by: The Norwegian Roads Administration

Project: 4360 – Korresponderende ruter RTM

Project Manager: Chi Kwan Kwong

Quality Manager: Anne Madslie

Research Area: Transport models

Keywords: Cube Voyager
Public transport network
Route choice algorithm
Transport modelling

Summary:

Schedule-based transit assignment can provide an accurate calculation of waiting time between corresponding services compared to headway-based assignment. CUBE Voyager's methodology of schedule-based transit assignment has been examined based on a set of simplified cases. The algorithms in CUBE assume that the travelers are optimizing their total travel time, and the initial waiting time is assumed to be zero. Accordingly, calculation of the initial waiting time is not affected by the frequency of the transit service. In CUBE, adding an extra transit line does not necessarily improve the transit service because computing of combined routes does not necessarily take the new bus line into account. The result is dependent on the departure time of the services. Consequently, a further improvement of CUBE Voyager's Schedule-based transit algorithms is needed before this approach can be implemented in the regional passenger transport models RTM.

Language of report: Norwegian

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

Forord

Tidtabellbasert kollektiv rutevalg er foreløpig lite utprøvd i Norge og Transportøkonomisk institutt fikk i oppdrag å utforske funksjonaliteten i CUBE Voyager og vurdere muligheten for å ta dette i bruk i regionale transportmodeller (RTM). Etter innledende stiliserte tester så vi flere svakheter ved metodikken, som resulterte i at vi forlot opprinnelig plan om å gå videre med omfattende testing i en RTM-modell. Basert på systematiske, enkle tester har vi i stedet forsøkt å klargjøre hvordan den tidtabellbaserte metodikken til CUBE Voyager fungerer i forhold til frekvensbasert tilnærming, med vekt på å belyse effekter av ulike ruteendringsscenarioer. Avslutningsvis diskuterer vi alternativ tilnærming for modellering av korresponderende kollektiv ruter.

Foreliggende rapport er et resultat av et testprosjekt initiert av Statens vegvesen Vegdirektoratets etatsprogram «Bedre by» med Guro Berge og Henrik Vold som kontaktpersoner. Chi Kwan Kwong ved Avdeling for økonomi og logistikk har gjennomført studien og arbeidet er kvalitetssikret av forskningsleder Anne Madslie. Arbeidet var opprinnelig slutført og rapportert som et arbeidsdokument i 2017. Etter ønske fra oppdragsgiver publiseres dette arbeidet nå som en TØI rapport.

Oslo, juni 2018

Transportøkonomisk institutt

Gunnar Lindberg
Direktør

Kjell Werner Jobansen
Avdelingsleder

Innhold

Sammendrag

1	Innledning	1
2	Kollektiv rutevalg i CUBE Voyager	2
	2.1 Konsept for tidtabellbasert rutevalg	2
	2.2 Oppsett for tidtabellbasert kollektiv rutevalg i CUBE Voyager	3
3	Testing av tidtabellbasert rutevalg	7
	3.1 Frekvensbasert vs. tidtabellbasert rutevalg	7
	3.2 Endring av frekvens	11
	3.3 Direkterute vs. mating til høyfrekvent rute	15
	3.4 Innføring av konkurrerende rutetilbud	16
	3.5 Oppsummering av testene	20
4	Diskusjon og anbefaling	22
	4.1 Første ventetid, avreisetidspunkt og ankomsttid på andre programplattformer ..	22
	4.2 Koding av rutetabeller	23
	4.3 Andre tilnærminger til modellering av korrespondanse	23
	4.4 Anbefaling	25
5	Referanser	27
	Vedlegg 1	29

Sammendrag

Tidtabellbasert kollektiv rutevalg og modellering av korresponderende ruter

TOI rapport 1633/2018
Forfatter: Chi Kwan Kwong
Oslo 2018 30 sider

Tidtabellbasert rutebeskrivelse gir mulighet til å modellere ventetid og korrespondanse mellom to kollektivruter på en mer detaljert måte. Tidtabellbasert rutevalg i CUBE Voyager er testet gjennom stiliserte regneeksempler. Metodikken forutsetter at trafikanten tilpasser sitt starttidspunkt, og ventetid ved første holdeplass settes derfor alltid til 0. Dette medfører at tilbudsforbedringer som økt frekvens ikke blir fanget opp i form av kortere ventetid. Regneeksempler med to konkurrerende rutealternativer mellom to soner viser at avgangstidspunktet påvirker sammensetningen av attraktive rutealternativer i valgsettet for rutevalgberegningen. Dette kan medføre at beregning av valgsannsynligheten for rutealternativene ikke blir håndtert på en konsistent måte ved en tiltaksberegning. Funnene fra våre tester tilsier at CUBEs håndtering av første ventetid bør videreutvikles før tidtabellbasert rutevalg blir tatt i bruk i regionale transportmodeller (RTM). Forfining av nettverk og rutekoding kan redusere ventetid og påstigningsulempe ved utvalgte holdeplasser i frekvensbasert rutevalg. Denne tilnærmingen gir imidlertid en noe mer komplisert nettverk- og rutekoding.

Fra frekvensbasert til tidtabellbasert rutevalg

I et *frekvensbasert* kollektiv rutevalg antar man at den gjennomsnittlige ventetiden er halvparten av headway (tiden mellom avgangene), eventuelt kombinert med en maksimal ventetid for kollektivruter med sjeldne avganger. Ventetiden for en kollektivreise vektet normalt 1,5 i forhold til ombordtiden i rutevalgberegningen. Ved lavfrekvente tilbud vil en ventetid på halvparten av headway bli uforholdsmessig lang. En rutevalgberegning hvor algoritmene tar hensyn til konkrete avgangstider vil kunne gi en mer presis beregning av ventetid og byttetid. Dette er en fordel for områder med lavfrekvente ruter hvor ruteplanene er tilpasset for korrespondanse ved knutepunkter. Tidtabellbasert rutevalg er foreløpig lite utprøvd og gjennom stiliserte regneeksempler høster vi erfaring med CUBE Voyagers metodikk for tidtabellbasert rutevalg og vurderer metodikken med fokus på å belyse effekter av ulike ruteendringsscenarioer. Tidtabellbasert rutevalg i CUBE Voyager bygger i stor grad på CUBE Voyagers metodikk for frekvensbasert kollektivt rutevalg, hvor rutevalgberegningen skjer i to trinn:

1. Bestemme sammensetningen av attraktive rutealternativ i valgsettet basert på en grov vurdering av rutene.
2. Beregne valgsannsynligheten blant de attraktive rutealternativene i valgsettet.

Gjennomføring av et tidtabellbasert rutevalg krever at rutebeskrivelsen inneholder avgangstidspunkt fra første holdeplass og tid mellom holdeplassene. Oppsettet for tidtabellbasert rutevalg er med andre ord ikke veldig ulikt det som gjelder for frekvensbasert rutevalg, med unntak av noen få tidtabellrelaterte parametere som må spesifiseres.

Hovedfunnene fra uttestingen

Ved tidtabellbasert rutevalg tar man hensyn til konkrete avgangstidspunkt og søker rutekombinasjoner som minimerer den totale reisetiden. Rutevalgprinsippet bygger på en annen tilnærming enn ved frekvensbasert tilnærming, og forutsetter at trafikantene tilpasser avreisetidspunktet for å minimere ventetiden ved første holdeplass. Dette innebærer at første ventetid alltid settes til 0. Ved en frekvensøkning vil man ikke fange opp en forbedring av kollektivtilbudet i form av redusert ventetid slik som vi er vant til fra den frekvensbaserte tilnærmingen. Dette gjør at man ikke kan bruke output fra LoS-data til å beskrive effekten av en frekvensøkning slik som det gjøres i dag i RTM. Med tidtabellbasert rutevalg vil effekten av økt frekvens komme fram ved at antall aktuelle rutealternativer innenfor modelleringsperioden øker. En økning av antall mulige rutealternativer er et uttrykk for økt servicenivå, så en tilpasning av resultatuttaket der antall mulige rutealternativer telles opp kunne være en løsning. Dette forutsetter imidlertid at sammensetningen av valgsettet blir beregnet på en konsistent måte.

I regneeksempler hvor det innføres et ekstra rutetilbud utover det eksisterende rutetilbudet på en bestemt reiserelasjon, har resultatene vist at avgangstidspunkt for rutene påvirker antall attraktive ruter i valgsettet. Dersom avgangstidspunktet til et konkurrerende rutetilbud er ett minutt senere i forhold til det opprinnelige rutetilbudet, viser testene at den opprinnelige rutekombinasjonen faller ut av valgsettet og valgsettet står igjen med færre attraktive rutealternativer. Da sannsynlighetsfordelingen mellom rutealternativene er avhengig av antall rutealternativer som er innlemmet i valgsettet, og sannsynlighetsfordelingen påvirker beregningen av gjennomsnittlig ventetid og antall påstigninger, medfører dette en inkonsistens i resultatene mellom før- og ettersituasjonen. Dette kan være uheldig i en nytteberegning, da en økning av tilbudet ikke nødvendigvis medfører en forbedring i LoS-data mellom referanse- og tiltakssituasjonen. Både beregnet endring i etterspørsel og i trafikantnytte blir dermed misvisende innenfor de beregningsopplegg som er etablert med utgangspunkt i RTM.

Man kunne eventuelt tenke seg at man tar i bruk en tidtabellbasert tilnærming for deler av nettverket og frekvensbasert beregning for det øvrige nettverket, men en slik kombinert tilnærming er per dags dato ikke mulig med CUBE Voyager. En kombinert tilnærming vil kreve at rutevalgberegninger etter de to prinsippene blir kombinert på en konsistent måte. Forutsetningen om at første ventetid er null anses likevel som den største utfordringen knyttet til å ta i bruk CUBE's tidtabellbaserte tilnærming i transport- og nytteberegninger. ***Etter vår vurdering bør håndtering av første ventetid ved tidtabellbasert rutevalg i CUBE videreutvikles før metodikken kan tas i bruk i regionale transportmodeller.***

Andre tilnærminger

Det er gjort et forsøk på å ta hensyn til redusert ventetid og påstigningsulempe med frekvensbasert rutevalgberegning ved å gjøre tilpasninger av nettverket og rutebeskrivelsen. I Osloregionens modell RTM23+ er det forsøkt å ivareta planlagt korrespondanse mellom buss og tog/T-bane på utvalgte knutepunkter. Dette er gjort ved å kode en variant av nettverket og rutebeskrivelse hvor man ved enkelte knutepunkt, primært for overgang mellom tog/T-bane og buss, har lavere påstigningsstraff og ventetidsvekt. Dette implementeres ved å angi ventetidsvekt og påstigningsstraff som nodespesifikke variabler. Lavere ventetidsvekt og påstigningsstraff skal imidlertid kun gjelde for *overgang* mellom kollektive transportmidler, og ikke generelt for alle kollektivreiser som benytter disse knutepunktene. Knutepunktene blir derfor kodet med noen ekstra fiktive lenker og

rutebeskrivelsene tilpasses for å kunne skille mellom første påstigning og på- og avstigning for bytte. Følgelig gir tilnærmingen en noe mer komplisert nettverk- og rutekoding. Etter vår vurdering er tilnærmingen best egnet for knutepunkter med oversiktlige rutealternativer og overgang mellom ruter med relativt likt servicenivå. Merarbeidet knyttet til koding av korresponderende ruter etter denne tilnærmingen bør avveies mot hvor mye det betyr for resultatene at man tar hensyn til korrespondanse.

1 Innledning

Det regionale transportmodellsystemet RTM benytter nettutleggingsprogramvaren CUBE Voyager som standardverktøy. Kollektivrutene i RTM beskrives med rutetrasé, stoppmønster, reisetid mellom holdeplassene, samt tid mellom avgangene (Headway). I et *frekvensbasert* kollektiv rutevalg antar man at den gjennomsnittlige ventetiden er halvparten av headway (eventuelt kombinert med en maksimal ventetid). For kollektivruter med sjeldne avganger kan en ventetid på halvparten av headway bli uforholdsmessig lang. I en slik gjennomsnittlig betraktning tar man heller ikke hensyn til korresponderende ruter, det vil si ruteplaner som er designet for å minimere trafikantenes byttetid. I takt med utbredelse av sanntidsinformasjonssystem for kollektivtrafikk gis det bedre mulighet for trafikantene til å tilpasse avreisetidspunktet, slik at ventetiden kan minimeres. For å gjøre en mer presis beregning av ventetid og rutevalg trenger man mer eksakt informasjon om konkrete avgangstider for kollektivrutene. Dette motiverer til å utforske hvilke muligheter som finnes i *tidtabellbasert* kollektiv rutevalg i CUBE Voyager.

2 Kollektiv rutevalg i CUBE Voyager

I det regionale transportmodellsystemet RTM avledes den gjennomsnittlige ventetiden for kollektivrutene fra den kodede headway. Man antar at trafikantene ikke kjenner til avgangstidspunkt for ruten og ankommer holdeplassen jevnt fordelt mellom avgangene. Gjennomsnittlig ventetid blir satt til halvparten av headway, med en maksimal ventetid på to timer. Ventetiden for en kollektivreise vektet normalt 1,5 i forhold til ombordtiden i rutevalgberegningen. Dersom det er flere aktuelle rutevalg på en gitt reiserelasjon, setter rutevalgalgoritmen i CUBE sammen et valgsett av attraktive ruter etter visse kriterier. Virkemåte og vurdering av CUBE Voyagers kollektiv rutevalg i en norsk setting er grundig redegjort for i Steinsland (2011). I følge Steinsland (2011) er CUBE Voyagers rutevalgalgoritme basert på en totrinnsmetodikk der første trinn går ut på å gjøre en grovutvelgelse av potensielt attraktive ruter, mens andre trinn evaluerer disse rutene nærmere. Avhengig av hvilket rutevalgsprinsipp man velger beregnes det en valgsannsynlighet blant de mest aktuelle rutevalgene for reiserelasjonen. I CUBE Voyagers terminologi omtales første trinn som **Enumeration**, og andre trinn som **Evaluation**.

I trinn 1 **Route Enumeration** gjøres en grov utvelgelse av attraktive rutekombinasjoner hvor kollektivruter som betjener samme strekning blir slått sammen til aggregerte kollektivrutepakker, som kalles *bundles* i CUBE. Algoritmen bruker en generalisert reisekostnadsfunksjon som angir vektet sum av prissatte kostnadselementer forbundet med å reise kollektivt, og en spredningsfunksjon som definerer hvilke alternative rutevalg som vil komme med i settet av attraktive ruter.

I trinn 2 **Route Evaluation** beregnes det en valgsannsynlighet for de attraktive rutene i valgsettet. Her inngår de reelle rutene i valgsettet. Rutevalgene kan bli evaluert etter frekvens eller frekvens kombinert med reisekostnad(tid). Valgsettet kan innskrenkes ved å sjalte ut rutevalg med lav valgsannsynlighet. Ved nettutlegging vil reisene på reiserelasjonen bli fordelt etter beregnet valgsannsynlighet.

2.1 Konsept for tidtabellbasert rutevalg

Som utgangspunkt for testing og evaluering av CUBEs tidtabellbaserte rutevalg fikk vi tilgang til en tutorial fra Citilabs (2012) som kort beskriver metodikken og går gjennom de viktigste parameterne. Et testdatasett med flere regneeksempler fulgte også med. Gjennom dette materialet, samt egne tester, har vi skaffet oss innsikt i metodikkens virkemåte.

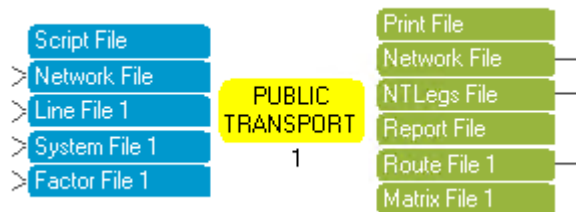
I likhet med frekvensbasert kollektiv rutevalg i CUBE foregår tidtabellbasert rutevalg gjennom to steg: (1) Setter sammen et valgsett av attraktive ruter, **Route Enumeration** og (2) Evaluerer rutene i valgsettet og beregner valgsannsynlighet blant attraktive ruter, **Route Evaluation**. Evaluering av rutene tar utgangspunktet i summen av generaliserte reisekostnader for rutealternativene. Avgrensningen av valgsettet styres gjennom parametersetting i faktorfilen og bygger i prinsippet på de samme forutsetningene som i frekvensbasert rutevalg, men det inngår andre sannsynlighetsfordelinger i den tidtabellbaserte rutevalgberegningen. En vesentlig forskjell ligger i hvordan CUBE betrakter ventetid i tidtabellbasert rutevalg, hvor man antar at trafikantene har full kjennskap til avgangstidene og tilpasser avreisetidspunktet fra startpunktet (for eksempel

fra bolig) til når bussen går fra holdeplassen. CUBE setter dermed første ventetid til 0. Denne forutsetningen er utfordrende i forhold til å ta metodikken i bruk, spesielt gjelder det nytteberegninger. Dette forholdet vil vi komme tilbake til ved omtalen av testene som er utført.

2.2 Oppsett for tidtabellbasert kollektiv rutevalg i CUBE Voyager

Krav til inndata og parametersetting

Rutevalg basert på tidtabell krever at en angir annen ruteinformasjon og parametere enn ved frekvensbasert rutevalgberegning, hvor trafikantenes rutevalg ikke er knyttet til konkrete avgangstider for kollektivtransporten. Funksjonaliteten for kollektiv rutevalgberegning ligger i programmodulen **Public Transport** i CUBE Voyager. De blå boksene på høyresiden i figur 1 indikerer inndataene, mens de grønne boksene på venstresiden representerer et utvalg av mulig output fra en kollektiv rutevalgberegning. Foruten en **nettverksfil** (.net) og en **rutebeskrivelse** (.lin) angis definisjonen av kollektivsystemet i **System file** (.pst). Innstillinger og parametersetting for rutevalget angis i **Factor file** (.fac). Ved introduksjon av tidtabellbasert rutevalg brukes noen nye funksjonaliteter og parametere. Vi vil i dette avsnittet gå gjennom de viktigste forskjellene fra frekvensbasert rutevalg.



Figur 1: Programmodulen Public Transport i CUBE Voyager med tilhørende inndata og mulige output fra en rutevalgberegning.

Nettverk og rutebeskrivelse

For å beregne et rutevalg med Public Transport i CUBE kreves det som inndata et nettverk for kollektivtransport (Network File .net) og en rutebeskrivelse (Line File .lin). Formatene for disse filene er CUBE-spesifikke. I RTM-systemet er det et standardisert opplegg for å generere disse inndatafilene fra en geodatabase med nettverk og rutebeskrivelse eksportert fra den ArcGIS-baserte tilleggsapplikasjonen TNEExtension. Rutebeskrivelsen i en tradisjonell frekvensbasert rutevalgberegning er definert med oppsettet vist i figur 2.

```
LINE NAME="1001",LONGNAME="Buss1A",MODE= 1,OPERATOR=102,HEADWAY=15,  
ONEWAY=T,CIRCULAR=F,ALLSTOPS=F,  
N=3,  
N=7,NN'TIME=10,  
N=6,NN'TIME=10
```

Figur 2: Oppsettet for definisjon av kollektiv ruter ved frekvensbasert rutebeskrivelse i CUBE. Parameter for angivelse av tid mellom avgangene (HEADWAY) er markert med rødt.

HEADWAY definerer tid mellom avgangene. Rutevalgberegning med tidtabeller i CUBE krever at kollektivrutene beskrives med tre nye parametere. Disse er merket med rødt i figur 3.

- STARTTIMES
- RUNINTERVALL
- DAYTYPE
-

```
LINENAME="1001",LONGNAME="Buss1A",MODE=1,OPERATOR=102,RUNINTERVALL=15,  
STARTTIMES=0800-1800,DAYTYPE=1-5,ONEWAY=T,CIRCULAR=F,ALLSTOPS=F,  
N=3,  
N=7,NN'TIME=10,  
N=6,NN'TIME=10
```

Figur 3 Oppsettet for definisjon av kollektiv rute ved tidtabellbasert rutebeskrivelse i CUBE. Parametere som er spesifikt for tidtabellbasert rutevalg er markert med rødt.

STARTTIMES angir avgangstidspunktene ved startnoden for ruten. **STARTTIMES** kan enten angis med spesifikke avgangspunkter, for eksempel 0800,0815,0830 etc, eller i et intervall, for eks. 0800-1800. Ved angivelse i intervall bruker man **RUNINTERVALL** for å angi tid mellom avgangene. Dersom man angir **STARTTIMES** 0805-0905 med **RUNINTERVALL** = 15, betyr det at første avgang er kl 0805 og neste er kl 0820 fram til kl 0905. Parameteren **DAYTYPE** angir hvilken ukedag (1-7) ruten betjener. Øvrige input for rutebeskrivelsen er ellers likt som frekvensbasert rutebeskrivelse. Med muligheten for å bruke parameterne **STARTTIMES** og **RUNINTERVALL** er det i prinsippet fullt mulig å konvertere de rutebeskrivelsene som brukes i RTM i dag, men man mister selvsagt informasjon der det ikke er stive ruter (faste tidsintervall mellom avgangene) og de reelle avgangstidspunktene må da kodes manuelt inn. For å få presis ruteinformasjon er den foretrukne løsningen å innhente de reelle rutetabellene fra en datakilde (rutedatabase) og koble ruteinformasjonen på transportnettverket gjennom **TNExtension**. utfordringen ligger imidlertid i at det ikke finnes en entydig kobling mellom rutetraséer og holdeplasser definert i **TNExtension** og det som brukes i rutedatabasen, da kollektivrutene er kodet manuelt ved bruk av **TNExtension** i dag. Vurdering av dataflyt fra ruteinformasjon til rutebeskrivelse til CUBE vil vi drøfte nærmere i kapittel 4.2.

Definisjon av kollektivsystemet (System File .pts)

I likhet med for frekvensbasert rutevalg defineres gyldige transportformer (**Modes**) og gjeldende ventetidskurver i systemfilen. Det er ingen endringer her som er spesifikke for tidtabellbasert rutevalg.

Parametersetting for rutevalgberegning i faktorfilen (Factor File .fac)

Ved introduksjon av rutetider oppstår det også behov for å angi tidsrommet modelleringen skal gjelde for. Dette styres med følgende parametere:

- TIMEPOINT eller PERIOD
- DAYTYPE

TIMEPOINT er starttidspunktet for modelleringen, for eks. TIMEPOINT=0600.

PERIOD brukes når modelleringstidsrommet angis som et tidsintervall, som for eksempel PERIOD=0600-0900. Parameteren **DAYTYPE** definerer hvilke ukedager modelleringen skal gjelde for. DAYTYPE=5 betyr at beregningen gjelder for fredager. Kun kollektivruter som er kodet med gyldige dager (matchende DAYTYPE) blir brukt i rutevalgberegningen. I tillegg forutsettes at parameteren **SHORTESTWALK**, som styrer valg av gangruter til holdeplass, må settes til FALSE (=F) ved modellering ved bruk av tidtabell.

CUBE Voyager legger til rette for å definere minimum og maksimum ventetid på nodenivå, slik at man kan differensiere ventetiden på ulike holdeplasser. Variablene som inneholder maks- og min ventetid angis med parameterne **MAXWAITVAR** og **MINXFERVAR** i faktorfilen. MAXWAITVAR er foreløpig ikke implementert i siste versjon av CUBE.

Parameterne er ikke påkrevd for å kjøre et rutevalg med tidtabeller.

Ved tidtabellbasert rutevalg tilbyr CUBE Voyager to ulike tilnærminger for sannsynlighetsfordeling av aktuelle rutevalg:

1. Rutevalg basert på logitfordeling (Logit Model) uttrykt ved formel (1), hvor C står for generalisert reisekostnad for rutevalg i og Lambda λ er skaleringsfaktoren i logitmodellen. Default verdi fra CUBE settes til 0.2. En høyere verdi av Lambda tillegger forskjellene mellom rutevalgalternativene større vekt.

$$P_i = \frac{e^{-\lambda C_i}}{\sum_j e^{-\lambda C_j}} \quad (1)$$

2. Rutevalg basert på Kirchoff-fordeling (Kirchoff Model) uttrykt ved formel (2), hvor C som tidligere står for generalisert reisekostnad for rutevalg i og Kbeta β er skaleringsfaktoren for Kirchoff-fordelingen.

$$P_i = \frac{C_i^{-\beta}}{\sum_j C_j^{-\beta}} \quad (2)$$

Logitfordeling brukes som default dersom ikke noe annet er angitt i faktorfilen. Ved bruk av Kirchoff fordelingen settes KIRCHOFF=T og KBeta må da være definert i faktorfilen.

I regneeksemplet fra CUBE er KBeta foreslått å være 1. Størrelsen på KBeta påvirker skaleringen av Kirchoff fordelingen, på samme måte som Lambda λ gjør for logitfordelingen.

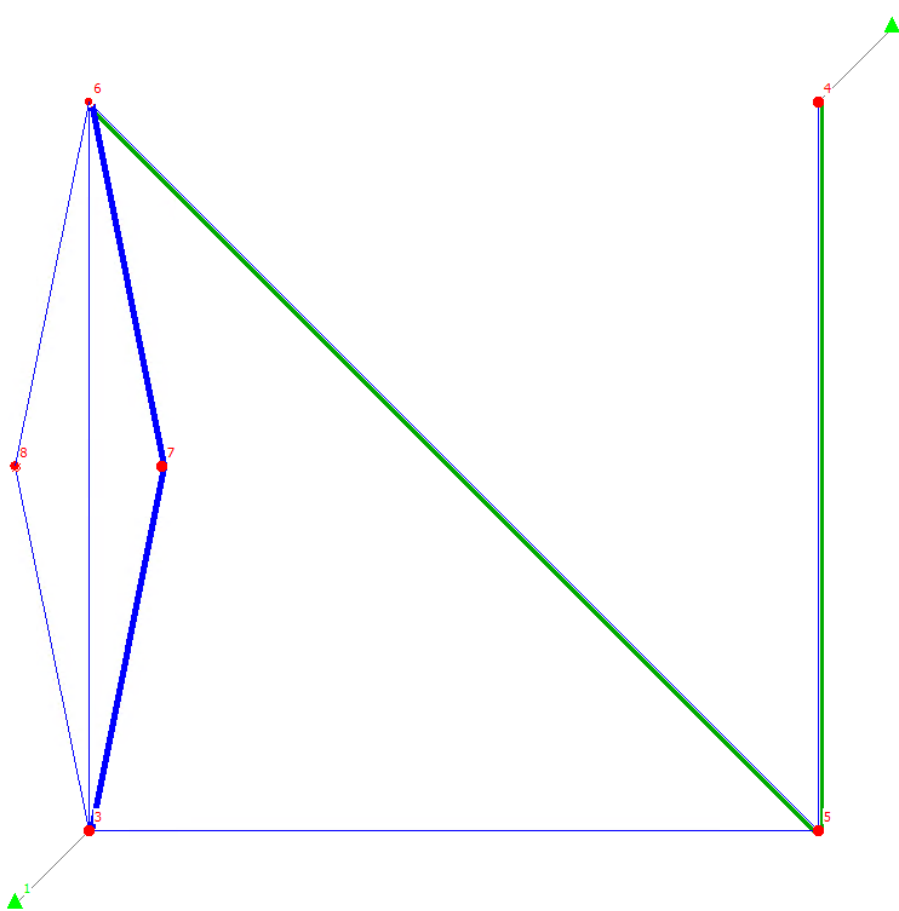
For å tydeliggjøre forskjellen i parametersettingen ved frekvensbasert vs. tidtabellbasert rutevalg vises i figur 4 et eksempel på hvordan faktorfilen i rutevalg med tidtabeller kan se ut. Parametere som er spesifikke for tidtabellbasert rutevalg er merket med rødt. Kommentarer til koden starter med semikolon (;).

```
; Tidtabellsesifikke parametere
PERIOD = 0600-0700      ; Modellerer mellom kl 0600-0700
DAYTYPE = 1             ; Modelleringen gjelder en typisk mandag
;Ventetidskurve nr 1 brukes for både 1. påstigning (IWAIT) og bytte (XWAIT). Gjelder hele nettverket:
IWAITCURVE=1, NODES=3-999999
XWAITCURVE=1, NODES=3-999999
; Vekting av ventetid. Gjelder hele nettverket
WAITFACTOR=1, NODES=3-999999
; Maksimal ventetid
REWAITMAX=120
; Vekting av ombordtid og tilbringertid
RUNFACTOR[100]=1.00
RUNFACTOR[101]=1.00
RUNFACTOR[102]=1.00
RUNFACTOR[1]=1.00
; Påstigningsstraff på 10 min for mode 1-15
BRDPEN=15*10
; Identifiserer kun det beste rutevalg mellom to soner.
; Må settes til FALSE ved tidtabell- og frekvens/kost rutevalgberegning
BESTPATHONLY=F
; Maks antall påstigninger
MAXFERS=4
; Parametere for å avgrense valgsettet av attraktive ruter
EXTRAXFERS1=1
EXTRAXFERS2=1
; Parameter som rutevalg for tilbringer(gang)
ALPHA=1
LAMBDAAW=0.2
; Metodikk for beregning av sannsynlighetsfordeling av aktuelle rutevalg med tidtabell.
; Kirchoff-fordelingen er valgt her
KIRCHOFF=T KBETA=1
; Rutevalgmodell som tar hensyn til både frekvens og reisekostnad. SERVICEMODEL er kommentert ut
ved tidtabellmodellering
; SERVICEMODEL=FREQUENCYCOST
; Valg av ruter som innebærer minst mulig gangavstand
; SHORTESTWALK er kommentert ut ved tidtabellmodellering
; SHORTESTWALK=F
; Parametere som definerer valgsettet av attraktive ruter
SPREADFUNC=2
SPREADFACT=1.0
SPREADCONST=30
CHOICECUT=0.2
```

Figur 4: Et eksempel på oppsett for faktorfilen i en tidtabellbasert rutevalgberegning. Parametere og kommentarer som gjelder spesifikt for tidtabellbasert rutevalg er markert med rødt. Linjer med kommentarer til kodene starter med (;).

3 Testing av tidtabellbasert rutevalg

For å få bedre forståelse for hvordan metodikken for tidtabellbasert rutevalg i CUBE Voyager fungerer, tar vi utgangspunkt i noen regneeksempler med et stilisert nettverk. Testnettverket vårt vist i figur 5 inneholder to soner: 1 og 2, med en fast etterspørsel på 100 turer som går fra sone 1 til sone 2.



Figur 5: Stilisert kollektivnettverk med sone 1 og sone 2

3.1 Frekvensbasert vs. tidtabellbasert rutevalg

I regneeksempel 1A starter vi med å teste hvordan et enkelt rutetilbud slår ut i et frekvensbasert rutevalg vs. et tidtabellbasert rutevalg. I testnettverket vårt har vi to kollektivruter (tykk blå og tykk grønn strek), hvor det forutsettes overgang ved node 6 for å komme seg fra sone 1 til sone 2. Gangtid til fra sone 1 til holdeplass ved node 3 er 7 minutter og gangtid fra node 4 til sone 2 er 3 minutter. Rutetilbudet i en tradisjonell frekvensbasert metode inneholder informasjonen som er vist i tabell 1. Påstigningsstraff er satt som et fast tidstillegg på 10 minutter.

Tabell 1: Rutetilbud med frekvensbasert rutevalg i regneeksemplet 1A

	Rutetrase	Ombordtid	Headway
Line 1001 (blå rute)	3 – 7 – 6	10 min	30 min
Line 2001 (grønn rute)	6 – 5 – 4	30 min	60 min

Rutebeskrivelsen kodet i CUBEs rutebeskrivelsesformat (.lin) vil se ut om som vist i figur 6.

```
LINE NAME="1001",LONGNAME="Buss1A",MODE= 1,OPERATOR=102,HEADWAY=30, ONEWAY=T,CIRCULAR=F,ALLSTOPS=F,
N=3,
N=7,NNTIME=5,
N=6,NNTIME=5
LINE NAME="2001",LONGNAME="Buss2A",MODE= 1,OPERATOR=102,HEADWAY=60, ONEWAY=T,CIRCULAR=F,ALLSTOPS=F,
N=6,
N=5,NNTIME=15,
N=4,NNTIME=15
```

Figur 6: Rutebeskrivelse i CUBEs .LIN format i frekvensbasert rutevalgberegning

Av rapporten fra resultatfilen i figur 7 kan man lese rutevalget for beregningen med tilhørende tidskomponenter. Samme resultatet i noe bearbeidet form er gjengitt i tabell 2.

```
REval Route(s) from Origin 1 to Destination 2
N:      1 Mode  WaitA  TimeA Actual B/XPen Percvd  Dist  Total  Lines (weight)
->      3 100    -    7.00  7.00    -    7.00  15.00  15.00
->      6  1  15.00  10.00  32.00  10.00  49.50 100.00 115.00 1001(1.000)
->      6  -    -    0.00  32.00    -    49.50  0.00  115.00
->      4  1  30.00  30.00  92.00  10.00 134.50 250.00 365.00 2001(1.000)
->      2 100    -    3.00  95.00    - 137.50  15.00 380.00
Mode TimeA  Dist IWaitA XWaitA
  1  40.00 350.00  15.00  30.00
 100  10.00  30.00
Probability=1.0000
```

Figur 7: Rutevalg rapport med frekvensbasert rutevalg for regneeksemplet 1.

Tabell 2: Reisetidskomponentene fra frekvensbasert rutevalg i regneeksemplet 1.

Tidskomponentene i rutevalg 1-2	Antall minutter
Gangtid S1 til N3	7
Ventetid ved N3 (halvparten av headway til Line 1001)	15
Ombordtid Line 1001	10
Ventetid ved N6 (halvparten av headway til Line 2001)	30
Ombordtid Line 2001	30
Gangtid N4-S2	3
Total «reell» reisetid (Actual Time)	95

I regneeksemplet 1B tar vi utgangspunktet i rutebeskrivelsen fra forrige eksempel og oversetter rutebeskrivelsen slik at den fungerer i et tidtabellbasert rutevalg uten å tilføye informasjon om konkrete avgangstider. Dette er det man må gjøre dersom man ønsker å ta i bruk tidtabellbasert rutevalg med et minimum av kodeinnsats på dagens rutebeskrivelser. For å kunne gjennomføre et tidtabellbasert rutevalg introduserer vi tre nye parametere i rutebeskrivelsen:

1. RUNINTERVAL = tilsvarer HEADWAY
2. STARTTIMES=0800-1800 (Tidsrommet kollektivrutene opereres i)
3. DAYTYPE = 1-7 (Rutetilbudet gjelder alle ukedager)

Dette betyr at første avgang for bussruten går kl 0800 fra første holdeplass og tiden mellom avgangene tilsvarer RUNINTERVAL. Med RUNINTERVAL = 30 betyr det at avgangstidene til blå rute fra node 3 blir kl 0800, 0830 osv. fram til 1800. Tilsvarende for grønn rute er første avgang fra node 6 kl 0800, og deretter 0900, 1000 osv. fram til kl 1800. Rutebeskrivelsen i CUBEs rutebeskrivelsesformat er vist i figur 8.

```

LINE NAME="1001",LONGNAME="Blå rute",MODE= 1,OPERATOR=102,RUNINTERVAL=30,STARTTIMES=0800-1800,ONEWAY=T,DAYTYPE=1-7,CIRCULAR=F,ALLSTOPS=F,
N=3,
N=7,NNTIME=5,
N=6,NNTIME=5
LINE NAME="2001",LONGNAME="Grønn rute",MODE= 1,OPERATOR=102,RUNINTERVAL=60,STARTTIMES=0800-1800,ONEWAY=T,DAYTYPE=1-7,CIRCULAR=F,ALLSTOPS=F,
N=6,
N=5,NNTIME=15,
N=4,NNTIME=15

```

Figur 8: Rutebeskrivelse i CUBEs .lin format ved tidtabellbasert rutevalgberging.

I faktorfilen må vi definere tidspunktet for når modelleringen skal gjelde for. Her har vi valgt kl 0700 på en mandag. Dette angis som TIMEPOINT = 0700 og DAYTYPE = 1. Rapporten for rutevalget med tidtabell vil i prinsippet se lik ut som for frekvensbasert rutevalg, men som vist i figur 9 har det i tillegg kommet avgangs- og ankomsttider for bussreisene.

```

REval Route(s) from Origin 1 to Destination 2
N:      1 Mode  WaitA  TimeA  Actual  B/XPen  Percvd  Dist  Total  Dep  Arr  Lines
->     3  100    -    7.00   7.00    -    7.00  15.00  15.00
->     6   1    0.00  10.00  17.00  10.00  27.00  100.00  115.00  0800.0  0810.0  1001
->     6   -    -    0.00  17.00    -    27.00   0.00  115.00
->     4   1  50.00  30.00  97.00  10.00  117.00  250.00  365.00  0900.0  0930.0  2001
->     2  100    -    3.00  100.00    -  120.00  15.00  380.00
Mode  TimeA  Dist  IWaitA  XWaitA
  1   40.00  350.00  0.00  50.00
 100  10.00  30.00
Probability=1.0000

```

Figur 9: Rutevalg rapport for tidtabellbasert rutevalg i regneeksempel 1B hvor avgangstidene ikke tar hensyn til korrespondanse.

Resultatet fra rutevalgbergingen i en noe mer bearbeidet form er gjengitt i tabell 3.

Tabell 3: Reisetidskomponentene fra tidtabellbasert rutevalg med regneeksempel 2.

Tidskomponentene i rutevalg 1-2	Antall minutter	Klokkeslett
Gangtid N1 til N3	7	
Ventetid ved N3	0	
Påstigning Line 1001 (blå rute)		0800
Ombordtid blå rute	10	
Avstigning ved N6		0810
Ventetid ved N6	50	
Påstigning Line 2001 (grønn rute)		0900
Ombordtid grønn rute	30	
Avstigning grønn rute		0930
Gangtid N4-S2	3	
Total «reell» reisetid (Actual Time)	100	

De mest påfallende forskjellene er at ventetiden ved første holdeplass blir 0, mens ventetid ved N6 blir på hele 50 minutter. Metodikken i CUBE Voyager forutsetter at trafikantene har full informasjon om rutetilbudet og kan tilpasse sitt avreisetidspunkt, med første ventetid er lik 0 som resultat. Med tidtabellbasert rutevalg er ventetiden ved bytte den faktiske tiden mellom ankomsttidspunktet for kollektiv rute 1 og avgangstidspunktet for kollektiv rute 2. For dette regneeksemplet blir ventetiden ved bytte på 50 minutter slik avgangstidspunktene for rutene er kodet. Dette er betydelig lenger enn den gjennomsnittlige ventetiden på 30 minutter ved frekvensbasert rutevalg. ***Dette viser betydningen av å legge inn de faktiske avgangstidspunktene for rutene dersom det skal være noe poeng å bruke tidtabellbasert rutevalg.***

I regneeksempel 1C gjentar vi regneøvelsen 1B, men legger inn avgangstider som tar hensyn til korrespondanse i node 6. Det skjer ved å endre STARTTIMES for blå rute til STARTTIMES = 0745-1800. Det betyr at første avgang starter kl 0745 i stedet for 0800. Resultatet av rutevalget blir da som vist i figur 10.

REVal Route(s) from Origin 1 to Destination 2												
N:	1	Mode	WaitA	TimeA	Actual	B/XPen	Percvd	Dist	Total	Dep	Arr	Lines
->	3	100	-	7.00	7.00	-	7.00	15.00	15.00			
->	6	1	0.00	10.00	17.00	10.00	27.00	100.00	115.00	0745.0	0755.0	1001
->	6	-	-	0.00	17.00	-	27.00	0.00	115.00			
->	4	1	5.00	30.00	52.00	10.00	72.00	250.00	365.00	0800.0	0830.0	2001
->	2	100	-	3.00	55.00	-	75.00	15.00	380.00			
Mode	TimeA	Dist	IWaitA	XWaitA								
1	40.00	350.00	0.00	5.00								
100	10.00	30.00										
Probability=1.0000												

Figur 10: Resultat av tidtabellbasert rutevalg i regneeksempel 1C, hvor det tas hensyn til korrespondanse i N6.

Av rapportfilen kan vi lese at ventetiden ved N6 går ned til 5 minutter. Tabell 4 viser en sammenstilling av LoS data slik de blir lest ut i standardoppsettet for RTM for de tre foregående regneeksemplene. Sammenstillingen viser først og fremst at vi kan oppnå mer presist modellering av ventetid ved bytte med tidtabellbasert rutevalg.

Tabell 4: Sammenstilling av LoS dataene fra frekvensbasert og tidtabellbasert rutevalg (regneeksemplene 1A, 1B og 1C).

Tidskomponentene	1A- Frekvensbasert	1B-Tidtabellbasert uten korrespondanse	1C- Tidtabellbasert med korrespondanse
Total gangtid	10	10	10
Total ventetid	45	50	5
Første ventetid	15	0	0
Ventetid ved bytte	30	50	5
Total ombordtid	40	40	40
Antall påstigninger	2	2	2

I regneeksemplene 1B og 1C er det kun ett rutevalg som er aktuelt og valgsannsynligheten for det valgte rutevalget er satt til 1.0. Det henger sammen med bruk av TIMEPOINT = 0700 som betyr at modelleringstidspunktet starter fra 0700 og første mulige rutekombinasjon blir valgt. Ved bruk av PERIOD istedenfor TIMEPOINT i angivelse av modelleringsperioden, vil alle mulige rutekombinasjoner innenfor definert tidsintervall bli vurdert. Vi gjentar regneeksempel 1C men bruker PERIOD = 0700-1000 istedenfor TIMEPOINT. Rutevalgrapporten i figur 11 viser at det innenfor tidsrommet 0700-1000 er

tre avganger for den aktuelle rutekombinasjonen som er mulig. I og med at alle tre rutealternativene er like i tidsbruk, er valgsannsynligheten lik for de tre aktuelle avreisetidspunktene. Dersom reiseetterspørselen mellom sone 1 og sone 2 er 100 reiser i løpet av 0700-1000, vil disse reisene fordeles på de aktuelle avgangene ut i fra den beregnede valgsannsynligheten. I dette tilfellet antas det at reisene fordeles likt mellom de tre avgangene. Antall avganger i et frekvensbasert rutevalg gjenspeiles i størrelsen på første ventetid, mens i en tidtabellbasert ruteberegning uttrykkes frekvensen som antall mulige avreisealternativer i løpet av en modelleringsperiode.

```

REVal Route(s) from Origin 1 to Destination 2

REVal Route(s) from Origin 1 to Destination 2

N:      1 Mode  WaitA  TimeA  Actual  B/XPen  Percvd  Dist  Total  Dep  Arr  Lines
->      3 100   -      7.00   7.00    -      7.00   15.00  15.00
->      6  1    0.00  10.00  17.00   10.00   27.00  100.00 115.00 0745.0 0755.0 1001
->      6  -    -      0.00  17.00    -      27.00   0.00  115.00
->      4  1    5.00  30.00  52.00   10.00   72.00  250.00 365.00 0800.0 0830.0 2001
->      2 100   -      3.00  55.00    -      75.00   15.00 380.00
Mode  TimeA  Dist  IWaitA  XWaitA
  1  40.00 350.00  0.00   5.00
 100  10.00  30.00
Probability=0.3333

N:      1 Mode  WaitA  TimeA  Actual  B/XPen  Percvd  Dist  Total  Dep  Arr  Lines
->      3 100   -      7.00   7.00    -      7.00   15.00  15.00
->      6  1    0.00  10.00  17.00   10.00   27.00  100.00 115.00 0845.0 0855.0 1001
->      6  -    -      0.00  17.00    -      27.00   0.00  115.00
->      4  1    5.00  30.00  52.00   10.00   72.00  250.00 365.00 0900.0 0930.0 2001
->      2 100   -      3.00  55.00    -      75.00   15.00 380.00
Mode  TimeA  Dist  IWaitA  XWaitA
  1  40.00 350.00  0.00   5.00
 100  10.00  30.00
Probability=0.3333

N:      1 Mode  WaitA  TimeA  Actual  B/XPen  Percvd  Dist  Total  Dep  Arr  Lines
->      3 100   -      7.00   7.00    -      7.00   15.00  15.00
->      6  1    0.00  10.00  17.00   10.00   27.00  100.00 115.00 0945.0 0955.0 1001
->      6  -    -      0.00  17.00    -      27.00   0.00  115.00
->      4  1    5.00  30.00  52.00   10.00   72.00  250.00 365.00 1000.0 1030.0 2001
->      2 100   -      3.00  55.00    -      75.00   15.00 380.00
Mode  TimeA  Dist  IWaitA  XWaitA
  1  40.00 350.00  0.00   5.00
 100  10.00  30.00
Probability=0.3333

```

Figur 11: Rutevalgrapport for tidtabellbasert rutevalg fra regneeksempel 1C, hvor rutevalget beregnes innenfor en tidsperiode (PERIOD) istedenfor et gitt starttidspunkt (TIMEPOINT).

3.2 Endring av frekvens

En viktig del av uttellingen er å se på hvordan tidtabellbasert rutevalgberegning responderer på endret kollektivtilbud. I et frekvensbasert rutevalg gir hyppigere avganger utslag i redusert ventetid, og man vil finne igjen effekten av tilbudsforbedringen i endrete LoS-data for kollektiv transport. I et tidtabellbasert rutevalg vil den reisende uansett tilpasse avreisen sin til avgangstidspunktet, og man vil ikke få endret ventetid slik som vi er vant til fra frekvensbasert rutevalg. Problemstillingen tydeliggjøres i regneeksempel 2A og 2B hvor vi dobler avgangshyppigheten til busstilbudet i vårt lille nettverk i to omganger:

- Regneeksempel 2A: Økt frekvens på Line 1001 (blå rute): Fra avgang hvert 30. minutt til hvert 15. minutt
- Regneeksempel 2B: Økt frekvens på Line 2001 (grønn rute): Fra avgang hvert 60. minutt til hvert 30. minutt

Tabell 5 viser standardkomponentene for LoS-data for kollektiv med frekvensbasert rutevalg, slik vi kjenner det fra RTM.

Tabell 5: LoS-data fra frekvensbasert rutevalg for regneeksempel 2A og 2B, hvor antall bussavganger er doblet (hhv blå- og grønn rute)

Tidskomponent	1A - Referanse Frekvensbasert	2A- 2xfrekvens på blå rute Frekvensbasert	2B - 2xfrekvens på grønn rute Frekvensbasert
Total gangtid	10	10	10
Total ventetid	45	37.5	30
Første ventetid	15	7.5	15
Ventetid ved bytte	30	30	15
Total ombordtid	40	40	40
Antall påstigninger	2	2	2

Økt frekvens gir direkte utslag i reduksjon av ventetiden, hhv. første ventetid og ventetid ved bytte avhengig av hvilken rute som får økt frekvens.

Tilsvarende regneøvelse er gjort for tidtabellbasert rutevalg hvor parameterverdien for RUNINTERVAL halveres. Avgangstidspunktene for blå- og grønn rute er ellers lik som i regneeksempel 1C. Planlagt korrespondanse på 5 minutter ved byttepunktet er videreført.

Tabell 6: LoS dataresultater fra tidtabellbasert rutevalg fra regneeksempel 2C og 2D hvor antall bussavganger på de to bussene dobles (hhv blå- og grønn rute).

Tidskomponent	1C - Referanse Tidtabellbasert	2C- 2xfrekvens på blå rute Tidtabellbasert	2D - 2xfrekvens på grønn rute Tidtabellbasert
Total gangtid	10	10	10
Total ventetid	5	5	5
Første ventetid	0	0	0
Ventetid ved bytte	5	5	5
Total ombordtid	40	40	40
Antall påstigninger	2	2	2

Resultatene i tabell 6 viser at LoS-data for kollektiv ved begge frekvensøkningene forblir likt som i referansesituasjonen. Dette skyldes at metodikken rundt tidtabellbasert rutevalg forutsetter at den reisende tilpasser avreisetidspunktet sitt til de mulige avgangstidspunktene som kan bringe dem til destinasjonen innenfor modelleringsperioden, og ventetiden blir da lik uansett hvor ofte bussruten går. For å få synliggjort effekter av frekvensøkningen med tidtabellbasert rutevalg vil vi også trekke ut andre resultater av rutevalgberegningen enn vi vanligvis gjør.

En dobling av frekvensen for blå rute gir ingen endring i antall mulige avganger innenfor modelleringsperioden. Dette skyldes at selv om blå rute går dobbelt så ofte nå, så er det antall avganger for grønn rute med avgang hvert 60. minutt som er dimensjonerende for

hvor mange avganger som kan bringe den reisende fra sone 1 til sone 2 innenfor modelleringsperioden. Rutevalgrapporten i figur 12 viser at antall mulige avganger forblir tre, med en valgsannsynlighet på 0.33 slik som i det siste regneeksemplet i avsnitt 3.1.

```

REVal Route(s) from Origin 1 to Destination 2

REVal Route(s) from Origin 1 to Destination 2

N:      1 Mode  WaitA  TimeA Actual B/XPen Percvld  Dist  Total  Dep  Arr  Lines
->      3 100   -      7.00  7.00   -    7.00  15.00 15.00
->      6  1    0.00  10.00 17.00  10.00 27.00 100.00 115.00 0745.0 0755.0 1001
->      6  -    -      0.00 17.00   -    27.00  0.00 115.00
->      4  1    5.00  30.00 52.00  10.00 72.00 250.00 365.00 0800.0 0830.0 2001
->      2 100   -      3.00 55.00   -    75.00  15.00 380.00
Mode  TimeA  Dist IWaitA XWaitA
  1  40.00 350.00  0.00  5.00
 100  10.00  30.00
Probability=0.3333

N:      1 Mode  WaitA  TimeA Actual B/XPen Percvld  Dist  Total  Dep  Arr  Lines
->      3 100   -      7.00  7.00   -    7.00  15.00 15.00
->      6  1    0.00  10.00 17.00  10.00 27.00 100.00 115.00 0845.0 0855.0 1001
->      6  -    -      0.00 17.00   -    27.00  0.00 115.00
->      4  1    5.00  30.00 52.00  10.00 72.00 250.00 365.00 0900.0 0930.0 2001
->      2 100   -      3.00 55.00   -    75.00  15.00 380.00
Mode  TimeA  Dist IWaitA XWaitA
  1  40.00 350.00  0.00  5.00
 100  10.00  30.00
Probability=0.3333

N:      1 Mode  WaitA  TimeA Actual B/XPen Percvld  Dist  Total  Dep  Arr  Lines
->      3 100   -      7.00  7.00   -    7.00  15.00 15.00
->      6  1    0.00  10.00 17.00  10.00 27.00 100.00 115.00 0945.0 0955.0 1001
->      6  -    -      0.00 17.00   -    27.00  0.00 115.00
->      4  1    5.00  30.00 52.00  10.00 72.00 250.00 365.00 1000.0 1030.0 2001
->      2 100   -      3.00 55.00   -    75.00  15.00 380.00
Mode  TimeA  Dist IWaitA XWaitA
  1  40.00 350.00  0.00  5.00
 100  10.00  30.00
Probability=0.3333

```

Figur 12: Rutevalgrapport ved tidtabellbasert rutevalgberegning fra regneeksempel 2C, hvor antall avganger for blå rute øker fra 2 til 4 ganger i timen.

Ved doubling av antall avganger for grønn rute får man derimot flere mulige avgangstidspunkter innenfor modelleringsperioden. Økt frekvens på grønn rute gjør at det nå finnes fem mulige avgangstidspunkt innenfor modelleringsperioden slik som rutevalgrapporten i figur 13 viser. Reiseetterspørselen innenfor modelleringsperioden kan dermed fordeles på fem mulige avgangstidspunkter og hver av disse får en valgsannsynlighet på 0,2 siden reisekostnadene for alle fem avgangene er like.

```

REval Route(s) from Origin 1 to Destination 2

N:      1 Mode  WaitA  TimeA Actual B/XPen Percvd  Dist  Total  Dep  Arr  Lines
->      3 100    -    7.00  7.00    -    7.00  15.00 15.00
->      6  1    0.00  10.00 17.00  10.00 27.00 100.00 115.00 0745.0 0755.0 1001
->      6  -    -    0.00 17.00    -    27.00  0.00 115.00
->      4  1    5.00  30.00 52.00  10.00 72.00 250.00 365.00 0800.0 0830.0 2001
->      2 100    -    3.00 55.00    -    75.00  15.00 380.00
Mode TimeA  Dist IWaitA XWaitA
  1 40.00 350.00  0.00  5.00
100 10.00  30.00
Probability=0.2000

N:      1 Mode  WaitA  TimeA Actual B/XPen Percvd  Dist  Total  Dep  Arr  Lines
->      3 100    -    7.00  7.00    -    7.00  15.00 15.00
->      6  1    0.00  10.00 17.00  10.00 27.00 100.00 115.00 0815.0 0825.0 1001
->      6  -    -    0.00 17.00    -    27.00  0.00 115.00
->      4  1    5.00  30.00 52.00  10.00 72.00 250.00 365.00 0830.0 0900.0 2001
->      2 100    -    3.00 55.00    -    75.00  15.00 380.00
Mode TimeA  Dist IWaitA XWaitA
  1 40.00 350.00  0.00  5.00
100 10.00  30.00
Probability=0.2000

N:      1 Mode  WaitA  TimeA Actual B/XPen Percvd  Dist  Total  Dep  Arr  Lines
->      3 100    -    7.00  7.00    -    7.00  15.00 15.00
->      6  1    0.00  10.00 17.00  10.00 27.00 100.00 115.00 0845.0 0855.0 1001
->      6  -    -    0.00 17.00    -    27.00  0.00 115.00
->      4  1    5.00  30.00 52.00  10.00 72.00 250.00 365.00 0900.0 0930.0 2001
->      2 100    -    3.00 55.00    -    75.00  15.00 380.00
Mode TimeA  Dist IWaitA XWaitA
  1 40.00 350.00  0.00  5.00
100 10.00  30.00
Probability=0.2000

N:      1 Mode  WaitA  TimeA Actual B/XPen Percvd  Dist  Total  Dep  Arr  Lines
->      3 100    -    7.00  7.00    -    7.00  15.00 15.00
->      6  1    0.00  10.00 17.00  10.00 27.00 100.00 115.00 0915.0 0925.0 1001
->      6  -    -    0.00 17.00    -    27.00  0.00 115.00
->      4  1    5.00  30.00 52.00  10.00 72.00 250.00 365.00 0930.0 1000.0 2001
->      2 100    -    3.00 55.00    -    75.00  15.00 380.00
Mode TimeA  Dist IWaitA XWaitA
  1 40.00 350.00  0.00  5.00
100 10.00  30.00
Probability=0.2000

N:      1 Mode  WaitA  TimeA Actual B/XPen Percvd  Dist  Total  Dep  Arr  Lines
->      3 100    -    7.00  7.00    -    7.00  15.00 15.00
->      6  1    0.00  10.00 17.00  10.00 27.00 100.00 115.00 0945.0 0955.0 1001
->      6  -    -    0.00 17.00    -    27.00  0.00 115.00
->      4  1    5.00  30.00 52.00  10.00 72.00 250.00 365.00 1000.0 1030.0 2001
->      2 100    -    3.00 55.00    -    75.00  15.00 380.00
Mode TimeA  Dist IWaitA XWaitA
  1 40.00 350.00  0.00  5.00
100 10.00  30.00
Probability=0.2000
    
```

Figur 13: Rutevalgrapport for tidtabellbasert rutevalg fra regneeksempel 2D hvor antall avganger for buss 2B øker fra 1 til 2 ganger per time.

Effekten av frekvensøkningen i tidtabellbasert rutevalg vil altså ikke komme fram gjennom beregning av ventetid i LoS data som vi vanligvis tar ut, men i endring av antall mulige avgangstidspunkt. Dette er et uttrykk for økt tilbud. Valgsannsynligheten beregnes imidlertid blant attraktive ruter som inngår i valgsettet definert i beregningsfasen ROUTE ENUMERATION. Det er rutevalginnstillinger som styrer hvilke ruter som anses som attraktive ved gitte tilbudsforutsetninger. Det er ikke gitt at det er de samme rutevalgene som inngår i valgsettet av attraktive ruter i for eksempel en før- og ettersituasjon.

3.3 Direkterute vs. mating til høyfrekvent rute

Å beregne effekten av en ruteomlegging fra mange direkteruter til mating til en høyfrekvent rute, er noe man ønsker å kunne besvare med modellanalyser. Det er kanskje her de største innvendingene til den tradisjonelle frekvensbaserte tilnærmingen ligger, hvor en planlagt kort overgangstid ikke fanges opp. I eksempel 3 vist i tabell 7 illustrerer vi hvordan frekvensbasert og tidtabellbasert rutevalgtilnærming responderer på en slik omlegging av systemet. Vi har beholdt gangtider etc. likt som i tidligere eksempler.

Tabell 7: Sammenstilling av LoS data og resultater fra frekvensbasert og tidtabellbasert rutevalgberegning, med direkte ruter og mating til høyfrekvent rutetilbud i regneeksempel 3.

Tidskomponentene	Frekvensbasert	Frekvensbasert	Tidtabell	Tidtabell
	Direkte60	Mate30	Direkte60	Mate30
Total gangtid	10	10	10	10
Total ventetid	30	30	0	5
Første ventetid	30	15	0	0
Total ombordtid	40	40	40	40
Antall påstigninger	1	2	1	2
Antall rutealternativ i valgsettet i løpet av en time (tidtabell)			1	2

I referansesituasjonen har vi en direkterute som går 1 gang i timen. Ventetiden med frekvensbasert tilnærming vil bli 30 minutter (første kolonne i tabell 7). Ved ruteomleggingen i regneeksempel 3 legger vi ned den direkte bussen, og setter i stedet opp en matebuss som går to ganger i timen til et togtilbud som også går to ganger i timen. Med frekvensbasert rutevalg vil den totale ventetiden fortsatt være 30 minutter, fordi summen av ventetid ved første holdeplass og ved bytte vil være 30 minutter (andre kolonne i tabell 7). Av de to første kolonnene i tabell 7 ser vi at ruteomleggingen gir en forverring av rutetilbudet, selv om antall reisealternativer øker fra en til to ganger i timen. Den totale ventetiden forblir den samme, men antall påstigninger øker med mating.

Svakheten med frekvensbasert rutevalg er at planlagt korrespondanse ikke blir tatt hensyn til. I en tidtabellbasert tilnærming kan vi angi eksakte avgangstidspunkter.

Avgangstidspunktene i vårt case gir en overgangstid mellom buss og tog i matekonseptet på 5 minutter. Ser man nærmere på LoS-data og resultater for de samme rutekonseptene med tidtabellbasert tilnærming (de to kolonnene lengst til høyre i tabell 7), får man heller ikke nå en entydig forbedring. I og med at første ventetid er satt til 0 får man ikke noen gevinst av at antall mulige avganger pr time har økt fra 1 til 2. Med matekonseptet øker den totale ventetiden fra 0 til 5 minutter, og antall påstigninger øker fra 1 til 2. For at effekten av frekvensøkningen i tidtabellbasert rutevalg skal bli synliggjort, må det foretas en eller annen form for opptelling av antall mulige rutealternativer man har i løpet av en time. Dette framkommer i rutevalg rapporten som genereres, men inngår ikke som en del av LoS-datauttaket i CUBE pr i dag.

3.4 Innføring av konkurrerende rutetilbud

I regneeksempel 4 ser vi nærmere på hvordan tidtabellbasert rutevalg fungerer når det innføres en direkte buss i tillegg til eksisterende rutetilbud i vårt lille nettverk. Som i tidligere eksempler betjenes sonerelasjonen 1-2 med blå rute og grønn rute, hver med to avganger per time. I tillegg introduserer vi en direkte buss (rød rute) vist med rød skrift i tabell 8. Direktebussen 'rød rute' har samme ombordtid som summen av ombordtiden til blå- og grønn rute, men den har kun én avgang per time.

Tabell 8 Rutetilbud for frekvensbasert rutevalg ved innføring av direkte buss 3A som konkurrerer mot busskombinasjonen 1A+2A.

	Rutetrase	Ombordtid	Headway
Line 1001 (blå rute)	3 – 7 – 6	10 min	30 min
Line 2001 (grønn rute)	6 – 5 – 4	30 min	30 min
Line 3001 (rød linje)	3 - 4	40 min	60 min

LoS-data for situasjonen hvor det er supplert med en ny direkte buss 'rød rute' er i tabell 9 sammenlignet med referansesituasjonen hvor vi kun har blå- og grønn rute.

Tabell 9 Sammenstilling av LoS-data for frekvensbasert rutevalg ved innføring av direktebussen 3A.

Tidskomponent	Frekvensbasert	Frekvensbasert
	Buss1A + Buss2A (Ref.)	Ref. + Direkte buss3A
Total gangtid	10	10
Total ventetid	30	26.25
Første ventetid	15	22.5
Total ombordtid	40	40
Ventetid ved bytte	15	3.75
Antall påstigninger	2	1.25

Første ventetid er beregnet ut i fra sannsynlighet for valg av direkte rute vs. kombinert rute. I dette tilfellet er ventetiden for direkte rute lengre, mens ventetid for rutealternativet med bytte er kortere, men med den ulempen at man må bytte. Med en fast påstigningskostnad på 10 min, blir den opplevde reisetiden med blå rute + grønn rute 75 min. (15 min. byttetid + 40 min. ombordtid + 2x10 min. påstigningskost), mens den direkte ruten har en opplevd reisetid på 50 min. (40 min. ombordtid + 10 min. påstigningskost). I tilfellet med alle tre rutene foretas en beregning av kombinert ventetid, basert på disse to rutealternativene, som tar hensyn til den totale opplevde reisetiden. Ved beregning av sannsynligheten for valg av rutealternativene sammenlignes reisetidstillegget for rutealternativet 'blå rute + grønn rute' med ventetiden til det beste rutealternativet (direkte buss). Så lenge reisetidstillegget er mindre enn ventetiden til det beste rutealternativet, vil det nest-beste rutealternativet bli inkludert i valgsettet. I dette tilfellet er reisetidstillegget 25 min for rutealternativet 'blå rute + grønn rute', mens ventetid for direktebussen er 30 min. Sannsynligheten for valg av rutealternativene blir beregnet ut i fra en sammenligning av reisetider. I dette tilfellet blir sannsynligheten for valg av den direkte ruten 0,75 og 'blå rute + grønn rute' 0,25.

I LoS-data beregnes en kombinert ventetid for sonerelasjonen som tar hensyn til at trafikanten er villig til å vente noe lenger for å redusere den totale reisetiden, slik som det er vist i tabell 9. Framgangsmåten for utregningen er beskrevet nærmere i CUBEs brukermanual (Citilabs, 2016). I vårt tilfelle blir den kombinerte første ventetiden 22.5 min og total ventetid 26.25 min. I og med at sannsynlighet for at trafikanten må bytte ved node

3 er beregnet til 0.25, blir den gjennomsnittlige ventetiden ved bytte 3.75 min ($0.75 * 0$ min ventetid_{direktebuss} + $0.25 * 15$ min ventetid_{kombinert}).

Når vi ved tidtabellbasert rutevalg skal gjennomføre regneeksempelet med direktebuss, må vi ta stilling til avgangstid for den nye bussen. En rekke varianter er testet, og i tabell 10 viser vi tre alternativ som på en god måte demonstrerer hvordan rutevalgberegningen fungerer med varierende avgangstidspunkt. Rutetilbudet og varianter av direktebussen (Line 3001 rød rute) er vist i tabell 10. For enkelhets skyld innskrenker vi modelleringsperioden til kl 0730-0830 slik at vi får fram aktuelle rutealternativer innenfor en time.

Tabell 10 Rutetilbud for tidtabellbasert rutevalg ved innføring av direktebuss Line 3001 'rød rute' som en «konkurrent» til blå- og grønn rute.

	Rutetrase	Ombordtid	RUNINTERVAL	STARTTIMES	Ventetid ved bytte
Line 1001 (blå rute) Ref	3 – 7 – 6	10 min	30 min	0745-1800	
Line 2001 (grønn rute) Ref	6 – 5 – 4	30 min	30 min	0800-1800	5
Line 3001 (rød rute, direkte buss)	3 – 4	40 min	60 min	0745-1800	0
Line 3001 (rød rute, direkte buss)	3 – 4	40 min	60 min	0746-1800	0
Line 3001 (rød rute, direkte buss)	3 – 4	40 min	60 min	0744-1800	0

I regneeksempelet 4a introduserer vi en direkte buss (rød rute) som har samme avgangstidspunkt som blå rute, men kun går en gang i timen. Med direktebussen bruker man 5 minutter kortere tid for å nå fram til sone 2 sammenlignet med rutealternativet med blå rute + grønn rute, og sannsynligheten for å velge direktebussen blir derfor noe større. Rutealternativet 'blå rute + grønn rute' har to avgangstidspunkt i løpet av en time. CUBE antar her at trafikantene fordeler seg likt på de to mulige tidspunktene. Som vist i figur 14 er det funnet tre mulige rutealternativer i løpet av en modelleringstime.

```

REval Route (s) from Origin 1 to Destination 2
N:      1 Mode  WaitA  TimeA Actual B/XPen Percvd  Dist  Total      Dep      Arr  Lines
->      3 100    -    7.00  7.00    -    7.00  15.00  15.00
->      4  1    0.00  40.00  47.00  10.00  57.00  350.00  365.00  0745.0  0825.0  3001
->      2 100    -    3.00  50.00    -    60.00  15.00  380.00
Mode  TimeA  Dist IWaitA XWaitA
  1  40.00  350.00  0.00  0.00
 100  10.00  30.00
Probability=0.3846

N:      1 Mode  WaitA  TimeA Actual B/XPen Percvd  Dist  Total      Dep      Arr  Lines
->      3 100    -    7.00  7.00    -    7.00  15.00  15.00
->      6  1    0.00  10.00  17.00  10.00  27.00  100.00  115.00  0745.0  0755.0  1001
->      6  -    -    0.00  17.00    -    27.00  0.00  115.00
->      4  1    5.00  30.00  52.00  10.00  72.00  250.00  365.00  0800.0  0830.0  2001
->      2 100    -    3.00  55.00    -    75.00  15.00  380.00
Mode  TimeA  Dist IWaitA XWaitA
  1  40.00  350.00  0.00  5.00
 100  10.00  30.00
Probability=0.3077

N:      1 Mode  WaitA  TimeA Actual B/XPen Percvd  Dist  Total      Dep      Arr  Lines
->      3 100    -    7.00  7.00    -    7.00  15.00  15.00
->      6  1    0.00  10.00  17.00  10.00  27.00  100.00  115.00  0815.0  0825.0  1001
->      6  -    -    0.00  17.00    -    27.00  0.00  115.00
->      4  1    5.00  30.00  52.00  10.00  72.00  250.00  365.00  0830.0  0900.0  2001
->      2 100    -    3.00  55.00    -    75.00  15.00  380.00
Mode  TimeA  Dist IWaitA XWaitA
  1  40.00  350.00  0.00  5.00
 100  10.00  30.00
Probability=0.3077

```

Figur 14: Rutevalgrapport for tidtabellbasert rutevalg for regneeksemplet 4a hvor direktebussens avgangstidspunkt er 0745.

Som tidligere tar ikke tidtabellbasert rutevalg hensyn til første ventetid (settes til 0 min). Ventetid og påstigning for sonerelasjonen er dermed knyttet til sannsynlighet for valg av rutealternativet 'blå rute + grønn rute' som har en ventetid ved bytte på 5 minutter. Sannsynligheten for valg av rutealternativet 'blå rute + grønn rute' er 0.3077. En vektet ventetid for sonerelasjonen er dermed 3.08 ($0.3077 * 5 \text{ minutter} * 2 \text{ avganger}$), og vektet antall påstigninger blir 1.62 ($0.3077 * 2 \text{ påstigninger} * 2 \text{ avganger i timen} + 0.3846 * 1 \text{ avgang i timen}$).

I regneeksemplet 4b viser at endring av avgangstidspunktet for direktebussen påvirker sammensetningen av valgsettet. Dersom vi forskyver avgangstidspunktet for direktebussen rød rute med ett minutt (avgang 0746), viser rutevalgrapporten i figur 15 at rutealternativet 'blå rute + grønn rute' (som går 0745) faller helt ut av valgsettet. I løpet av modelleringsperioden er det nå kun to mulige rutealternativer.

```

REval Route(s) from Origin 1 to Destination 2

N:      1 Mode  WaitA  TimeA Actual B/XPen Percvd  Dist  Total      Dep      Arr  Lines
->     3  100    -    7.00  7.00    -    7.00  15.00  15.00
->     4   1    0.00  40.00  47.00  10.00  57.00  350.00 365.00  0746.0  0826.0  3001
->     2  100    -    3.00  50.00    -    60.00  15.00  380.00
Mode  TimeA  Dist IWaitA XWaitA
  1   40.00 350.00  0.00  0.00
 100  10.00  30.00
Probability=0.5556

N:      1 Mode  WaitA  TimeA Actual B/XPen Percvd  Dist  Total      Dep      Arr  Lines
->     3  100    -    7.00  7.00    -    7.00  15.00  15.00
->     6   1    0.00  10.00  17.00  10.00  27.00  100.00 115.00  0815.0  0825.0  1001
->     6   -    -    0.00  17.00    -    27.00  0.00  115.00
->     4   1    5.00  30.00  52.00  10.00  72.00  250.00 365.00  0830.0  0900.0  2001
->     2  100    -    3.00  55.00    -    75.00  15.00  380.00
Mode  TimeA  Dist IWaitA XWaitA
  1   40.00 350.00  0.00  5.00
 100  10.00  30.00
Probability=0.4444

```

Figur 15: Rutevalgrapport for tidtabellbasert rutevalg hvor direktebussens avgangstidspunkt er 0746.

Endret sammensetning av valgsettet påvirker valgsannsynligheten for rutealternativene og dermed også vektet ventetid og antall påstigninger.

I regneeksemplet 4c framskynder vi avgangstidspunktet for direktebussen (rød rute) med ett minutt (avgangstid kl 0744). I dette tilfellet blir rutealternativet 'blå rute + grønn rute' som går 0745 tatt inn igjen i valgsettet, og resultatet for rutevalget er lik det som ble vist i figur 14. Tabell 11 viser en oversikt over LoS-resultater for alle tre variantene av direktebussen og viser hvordan ventetid og antall påstigninger varierer med avgangstidspunktet.

Tabell 11: Sammenstilling av LoS dataresultater for tidtabellbasert rutevalg ved innføring av direktebussen med ulike avgangstidspunkter

Tidskomponent	Blå rute + Grønn rute Ref.	Ref. + Direktebuss rød rute (0745)	Ref. + Direktebuss rød rute (0746)	Ref. + Direktebuss rød rute (0744)
Total gangtid	10	10	10	10
Første ventetid	0	0	0	0
Total ventetid	5	3.08	2.22	3.08
Total ombordtid	40	40	40	40
Antall påstigninger	2	1.62	1.44	1.62
Antall rutealternativer i valgsettet i løpet av én time	2	3	2	3
Sannsynlighet for valg av direkte buss (3A-C)		0.3846	0.5556	0.3846
Sannsynlighet for valg av kombinert rute (buss 1A+2A)		0.3077 (2 avg.)	0.4444 (1 avg.)	0.3077 (2 avg.)

Flere tester viser at ***så lenge direktebussen rød rute har avgang senere enn blå rute og samtidig ankommer destinasjonen før grønn rute, så ser CUBE bort fra rutealternativet 'blå rute + grønn rute' som går 0745.***

Endring i sammensetning av valgsettet påvirker altså den kombinerte ventetiden og gjennomsnittlig antall påstigninger, siden disse to størrelsene er basert på sannsynlighetsfordelingen mellom attraktive rutealternativer i løpet av modelleringsperioden. I en tradisjonell nytte-kost betraktning kan metodikken rundt sammensetning av valgsettet oppfattes som tilfeldig og en ruteforbedring vil ikke nødvendigvis gi en entydig positiv nytte. Dette gjør at det kan bli langt mer krevende å etterprøve og kvalitetssikre resultatene.

3.5 Oppsummering av testene

Ved tidtabellbasert rutevalg tar man hensyn til konkrete avgangstidspunkt og søker rutekombinasjoner som minimerer den totale reisetiden. Den opplagte forbedringen ved å bruke tidtabellbasert tilnærming er å få en mer presis beregning av ventetid ved bytte. Dette er en fordel for områder med lavfrekvente ruter hvor ruteplanene er tilpasset korrespondanse ved knutepunkter. I et tradisjonelt frekvensbasert rutevalg kan ventetiden i slike tilfeller bli uforholdsmessig lang.

Rutevalgprinsippet for tidtabeller bygger på en annen tilnærming enn frekvensbasert tilnærming, og forutsetter at trafikantene tilpasser avreisetidspunkt for å minimere ventetiden ved første holdeplass. Dette innebærer at første ventetid alltid blir 0, og en får ingen gevinst av at frekvensen bedres. Første ventetid vil fremdeles være 0. Dette gjør at man ikke kan bruke output fra LoS-data til å beskrive effekten av en frekvensøkning slik som det gjøres i dag i RTM. En frekvensforbedring får som sagt ingen effekt på første ventetid, men det kan øke antall mulige rutealternativer i løpet av modelleringsperioden. En økning av antall mulige rutealternativer er et uttrykk for økt servicenivå, så man kunne tenke seg en tilpasning av resultatuttak der antall mulige rutealternativer telles opp. På grunn av CUBEs måte å definere valgsettet av attraktive rutealternativer, er dette likevel ikke en farbar vei å gå. Regneeksemplene fra avsnitt 3.4 indikerer at avgangstidspunkt for rutene påvirker sammensetningen av valgsettet av attraktive ruter. I testene våre, hvor direkteavgangen forskyves med ett minutt i forhold til konkurrerende ruter, fås en endring i antall attraktive rutealternativer. Når beregning av ventetid og antall påstigninger også er avhengig av sammensetningen av valgsettet, medfører dette en inkonsistens i resultatene mellom før- og ettersituasjonen. Dette kan være krevende i en nytteberegning, da en økning av tilbudet ikke nødvendigvis medfører en forbedring i LoS-data mellom referanse- og tiltakssituasjonen.

Forutsetningen om at første ventetid er null anses likevel som den største utfordringen med å ta CUBEs tidtabellbaserte tilnærming i transport- og nytteberegninger. Hoveddelen av kollektivreiser som utføres består tross alt av kun én påstigning. I følge den siste nasjonale reisevaneundersøkelsen for Oslo og Akershus (PROSAM, 2015) har så mange som 80 % av kollektivreisene kun én påstigning. Når første ventetid settes til null, vil en frekvensøkning for disse kollektivreisene ikke gi noen forbedring med CUBEs tidtabellbaserte tilnærming.

Man kunne eventuelt tenke seg at man tar i bruk tidtabellbasert tilnærming for deler av nettverket og frekvensbasert beregning for det øvrige nettverket, men en slik kombinert tilnærming er per dags dato ikke mulig med CUBE Voyager. En kombinert tilnærming vil kreve at rutevalgberegninger etter de to prinsippene blir kombinert på en konsistent måte.

En annen kombinert tilnærming kunne være å bruke tidtabellbasert rutevalg for å modellere ventetid ved bytte, mens øvrige LoS-data hentes fra frekvensbasert rutevalgberegning. Dette ville forutsette en konsistent oversettelse fra tidtabellbasert rutebeskrivelse til frekvensbasert rutebeskrivelse, noe som det ikke er tilrettelagt for per i dag. Regneeksempelet med innføring av konkurrerende ruter i avsnitt 3.4 viser at sannsynlighetsfordelingen mellom rutealternativene er avhengig av antall rutealternativer som er innlemmet i valgsettet, og at denne sannsynlighetsfordelingen påvirker beregningen av gjennomsnittlig ventetid og antall påstigninger. Med en kombinert metode kan man risikere å sette sammen resultater basert på forskjellige rutealternativer i kollektivnettverket. Resultatene kan fort bli uoversiktlige og vanskelig å etterprøve i et reelt kollektivnettverk. ***En konsistent måte å håndtere første ventetid på ved tidtabellbasert rutevalg i CUBE anses derfor som en mer hensiktsmessig videreutvikling.***

4 Diskusjon og anbefaling

4.1 Første ventetid, avreisetidspunkt og ankomsttid på andre programplattformer

Andre strategiske transportmodellprogramsystem som EMME og VISUM tilbyr også funksjonalitet for tidtabellbasert rutevalgberegning. I følge EMMEs brukermanual (INRO, 1998) gis det mulighet til å skille mellom *implisitt og eksplisitt forsinkelse (lateness)*¹ ved et gitt ønsket avreisetidspunkt² fra sonen, gjennom spesifisering av flere variabler. Gitt at ønsket avreisetidspunktet er kl 0800, mens bussen har avgang kl 0809. Hvis «tillatte» avreisetidspunkter er hvert 5. minutt fra kl 0800 til kl 0815, så vil avreisetidspunktet 0805 bli valgt. I følge EMMEs metodikk anses tiden mellom 0805 og 0809 (4 minutter) som implisitt ventetid, mens tiden mellom 0800 og 0805 (5 minutter) betraktes som eksplisitt forsinkelse. Eksplisitt forsinkelse kan betraktes som skjult ventetid. Skillet mellom implisitt og eksplisitt forsinkelse åpner en mulighet for å vekke disse to tidskomponentene ulikt. Slik som CUBE fungerer nå, tilpasses avreisetidspunkt fra sonen slik at det aldri blir noen ventetid på første kollektivtransportmiddel. Skjult ventetid fanges ikke opp på noen måte. I følge veiledningsmateriale fra CUBE for tidtabellbasert rutevalg, er metodikken i CUBE lagt opp til å beregne forsinkelse i forhold til ønsket avreisetidspunkt gjennom definering av forsinkelseskurver med variablene LATEPENECURVE og LATECRVDEF (eller EARLYPENECURVE / EARLYCRVDEF for fremskyndet avreisetidspunkt). Disse funksjonalitetene var foreløpig ikke implementert i CUBE da våre tester ble gjennomført, så det har i dette prosjektet ikke lyktes å komme til bunns i hvordan de virker.

I PTVs VISUM-modell (COWI, 2017) legges det i utgangspunktet opp til at første ventetid er null ved tidtabellbasert rutevalg, men VISUM er tilrettelagt for å angi første ventetid med en enkel betraktning av tid mellom avgangene og frekvensen på det totale rutetilbudet som betjener sonerelasjonen etter følgende formel:

$$\text{Origin wait time} = A \cdot (\text{Assignment time interval} / \text{Service frequency})^E$$

(Assignment time interval/Service frequency) tilsvarer det vi vanligvis kaller Headway dersom Assignment time interval settes til én klokke. Med faktor $A = 0,5$ og $E = 1$ vil første ventetid (origin wait time) bli halvparten av frekvensen. Ved å endre A til for eksempel 1,5 og E til 0,5 vil størrelsen på headway ha mindre betydning for ventetiden, og det forutsettes at trafikanten i større grad tilpasser seg til tidtabellen. Origin wait time (første ventetid), beregnes som en felles variabel for alle rutealternativene mellom to gitte soner, så på sett og vis er første ventetid inkludert som et fast tidstillegg, ikke veldig ulikt

¹ Avreise på et tidligere tidspunkt enn ønsket avreisetidspunkt (*Earliness*) behandles på samme måte som utsatt avreisetidspunkt/forsinkelse (*Lateness*)

² Analogt til avreisetidspunkt behandles ankomsttidspunkter etter samme metodikk

det som er mulig i CUBE Voyager. I VISUM åpnes det imidlertid for å legge inn egne formler for utregning av første ventetid.

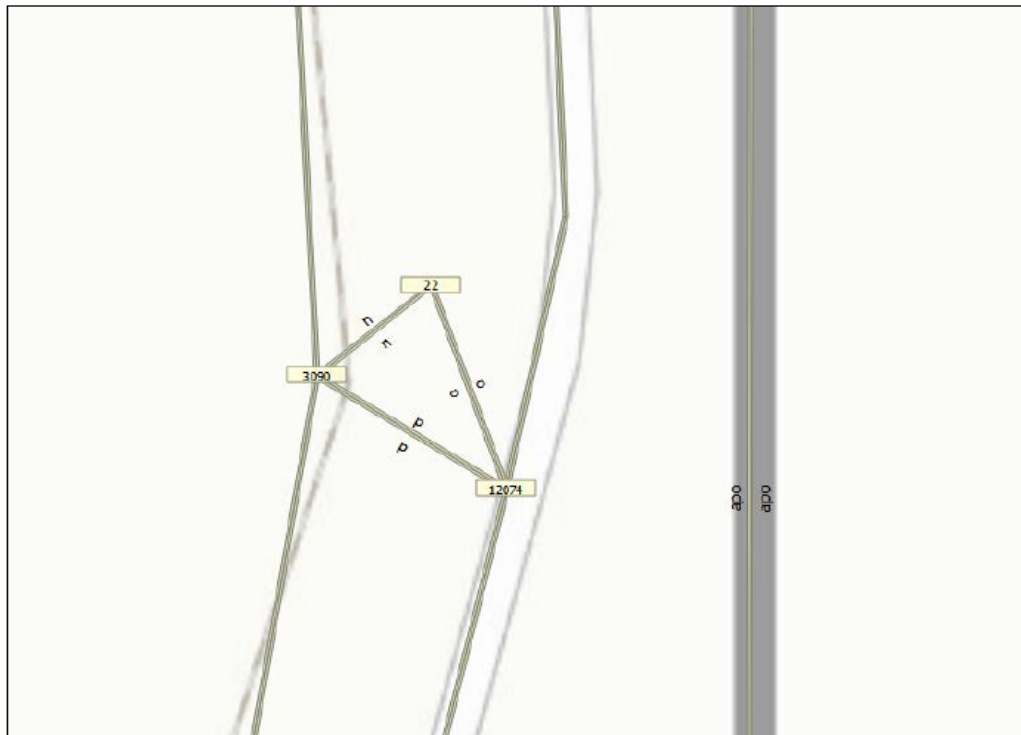
4.2 Koding av rutetabeller

Oppsettet for rutebeskrivelsen som kreves for å kjøre et tidtabellbasert rutevalg i CUBE avviker i prinsippet lite fra frekvensbasert rutekoding. En oversettelse av parameteren HEADWAY til STARTTIMES og RUNINTERVAL i linjebeskrivelsen (heading) krever kun en enkel tekstomformatering, men uten de konkrete avgangstidspunkter vil man ikke få fram eventuell planlagt korrespondanse og man kan fortsatt få uforholdsmessig lang byttetid. Det er derfor lite poeng i å bruke tidtabellbasert metodikk med mindre man koder inn konkrete avgangstidspunkt.

Den mest rasjonelle tilnærmingen for koding av tidtabell for operative modeller som RTM og NTM6, er å generere tilpassede rutebeskrivelser fra en rutedatabank via et automatisert opplegg. En nasjonal rutedatabank er i ferd med å komme på plass og det er vedtatt at rutedataene skal beskrives i et felles utvekslingsformat NeTex fra 01. juni 2017. Dette muliggjør en skreddersydd løsning for innhenting av rutedata for tidtabellbasert modellering i CUBE. Med kobling til rutedatabanken kan man få tilgang til langt mer detaljerte data som gir en mer presis modellering av byttesituasjonen. Man kan for eksempel angi konkret ankomsttid og avreisetid for en buss ved en holdeplass og vil også kunne fange opp eventuell planlagt oppholdstid ved holdeplassen. For å fungere i en ordinær dataflyt i RTM systemet, må en slik automatisert rutedatakoding være integrert mot TNEExtension, som er gjeldende applikasjon for koding av vei- og kollektiv rutebeskrivelse til RTM.

4.3 Andre tilnærminger til modellering av korrespondanse

I de norske modellene gjøres det i dag ulike former for nettverksmanipulering i den frekvensbaserte kollektivmodelleringen for å fange opp korrespondanse mellom rutene. Normalt vil ventetiden ved en byttesituasjon være halvparten av headway til transportmiddel nr 2, det vil si en ventetidsfaktor på 0.5. I tillegg representeres ulempen ved en byttesituasjon med en påstigningsstraff på 5 minutter med en vekt på 2. Tradisjonelt settes disse variablene globalt for nettverket. I nettverket til Osloregionens modell RTM23+, er det valgt å kode en variant av nettverket og rutebeskrivelsen hvor det i enkelte knutepunkt, primært for overgang mellom tog/T-bane og buss, har lavere påstigningsstraff og ventetidsvekt. Metoden er beskrevet i PROSAM (2016). Dette implementeres ved å angi ventetidsvekt og påstigningsstraff som nodespesifikke variabler. Lavere ventetidsvekt og påstigningsstraff skal imidlertid kun gjelde for overgang mellom kollektive transportmidler, og ikke generelt for alle kollektivreiser som benytter disse knutepunktene. Knutepunktene blir derfor kodet med noen ekstra fiktive lenker og rutebeskrivelsene tilpasses for å kunne skille mellom første påstigning og på- og avstigning for bytte. Figur 16 viser et eksempel hentet fra PROSAM (2016) som illustrerer hvordan et slikt knutepunkt representeres i transportnettverket kodet i programvaren EMME.



Figur 16: Eksempel på nettverk med påkoding av egen overgangsnode (node 22) for å skille reiser i overgang fra øvrige reiser i knutepunktet. Kilde: PROSAM, 2016 (rapport nr 221).

I nettverket vist i figur 16 er node 3090 en togstasjon og node 12074 er holdeplassen for bussen. I tillegg er det lagt til en ekstra overgangsnode, node 22, i nettverket. Lenkene som er tilknyttet overgangsnode 22 kan kun brukes av henholdsvis tog (lenkekode = n) og buss (lenkekode = o) og transportformen gange (mode = p) er ikke mulig på disse lenkene. I rutebeskrivelsen tilpasses på- og avstigningsmønsteret slik at både tog-ruten og buss-ruten har to stopp på dette knutepunktet. For å få riktig gjengivelse for både på- og avstigning og bytte er bussruten kodet slik:

1. Bussen ankommer først node 12074 for å slippe av passasjerer som skal av og som ikke skal videre med annen kollektivtransport.
2. Bussen går videre til node 22 for å ta opp og slippe av passasjerer som bytter mellom kollektivruter i knutepunktet. Node 22 er kodet med lavere ventetidsvekt og påstigningsstraff.
3. Bussen går videre tilbake til node 12074 for å ta opp passasjerer som starter sin reise fra denne holdeplassen (første påstigning). Standard ventetidsvekt og påstigningsstraff legges på her. Eventuell reguleringstid er lagt til i node 22.

Metoden er mest aktuell for overgang mellom lavfrekvente ruter, hvor redusert ventetid kan bety en del for den totale reisetiden. I høyfrekvente kollektivsystem er ventetiden mellom avgangene så pass kort at tilrettelagt koding for korrespondanse har mindre relevans. Tilnærmingen byr på noe mer komplisert rutekoding ved knutepunktene, men ikke verre enn at det er overkommelig. For disse korresponderende knutepunktene er ventetidsvekten i RTM23+ nettverket satt til 0.01 og påstigningsstraffen varierer fra 1 til 3 minutter avhengig av om det er bytte mellom tog, buss, T-bane eller båt. Med en ventetidsvekt på 0.01 eliminerer man verdien på headway for det neste kollektivtransportmidlet i reisekjeden. For byttesituasjoner hvor frekvensen på de korresponderende rutene er ganske like, fungerer denne tilnærmingen godt, men ved overgang fra et høyfrekvent tilbud til et lavfrekvent tilbud kan tilnærmingen gi et feilaktig

bilde av kollektivtilbudet. Dette gjelder for eksempel ved overgang fra tog med hyppig frekvens til en matebuss som betjener et mindre boligområde med dårlig trafikkgrunnlag, slik at bussen kun korresponderer med noen av togavgangene (for eksempel kun en gang i timen). Med metoden beskrevet over vil den lave frekvensen på matebussen bli eliminert og kollektivtilbudet til dette mindre sentrale boligområdet vil fremstå som bedre enn det i virkeligheten er. Rutetilbudet til og fra boligområdet vil dermed bli asymmetrisk, hvor frekvensen ved reiser *fra* boligområdet er gitt av matebussen med lav frekvens, mens reiser *til* det samme området er gitt av togtilbudet som har høy frekvens. Med en slik «sammenkobling» av rutene mister man også muligheten til å beregne effekten av frekvensøkning for matebussen. Metoden anses derfor som mest aktuell for enkle knutepunkter med oversiktlig korrespondanse mellom forholdsvis få kollektivruter og relativt likt servicenivå (frekvens).

Det er fullt mulig å benytte RTM23+ sin tilnærming for korresponderende ruter også i CUBE, ved å angi egne ventetidskurver for utvalgte noder. Ventetidskurver defineres i Kollektivsystemfilen (.pst filen) i CUBE. Implementering av RTM23+ sin tilnærming i CUBE vil imidlertid møte de samme utfordringene som nevnt i forrige avsnitt. Disse utfordringene påpekes også av SINTEF i et prosjektnotat til utarbeidelse av retningslinjene for pågående byutredninger (Malmin m. fl., 2017). Som en mulig tilnærming foreslås der å kode korresponderende ruter som én sammenhengende rute. Dette kan fungere ved overgang mellom busser, mens korrespondanse mellom tog og buss er mer problematisk. Det vil så fall kreve at man definerer en egen mode for slike fiktive sammenkoblede ruter. Ved innføring av korresponderende ruter anbefaler Malmin m. fl. (2017) at fiktive sammenkoblede ruter bør inngå både i referanse- og tiltakssituasjon, og at referansesituasjonen bør rammetallskalibreres på nytt. Modellering av korrespondanse gir dermed en rekke føringer for hvordan analysearbeidet bør legges opp ved oppstart av analysene.

Korresponderende ruter kan altså beskrives på en mer realistisk måte gjennom å forfine og manipulere nettverket og rutebeskrivelsen, men samtidig fører det til mer krevende kontroll og oppdatering av kodingene, og ikke minst etterprøving og tolkning av resultatene. Man må samtidig være bevisst på hvilke tilfeller tilnærmingen er egnet for. Merarbeidet knyttet til korresponderende ruter bør avveies mot hvor mye det betyr for resultatene å ta hensyn til korrespondanse.

4.4 Anbefaling

Gjennom uttesting har vi høstet erfaring med tidtabellbasert kollektiv rutevalg i CUBE. For å gjøre testene oversiktlige og tolkbare har vi valgt å belyse mekanismene rundt tidtabellbasert rutevalg med et stilisert nettverk. Resultatene fra tidtabellbasert tilnærming er sammenlignet med resultater fra frekvensbasert rutevalgberegning. I CUBE's tidtabellbaserte rutevalg forutsettes at alle tilpasser seg avgangstiden til første transportmiddel, ved at første ventetid settes til null. Forutsetningen om første ventetid lik null er i seg selv en plausibel tilnærming, for man forutsetter at trafikantene kjenner til tidtabellen og tilpasser adferd og avreisetidspunkt slik at tidsbruken minimeres, men bortfall av første ventetid gjør at man mister muligheten for å analysere endret avgangshyppighet for rutene. Det er ikke gangbart i en tiltaksberegning. Dette er vår hovedinnvending mot metodikken, og det som gjør at vi per i dag ikke vil anbefale innfasing av tidtabellbasert kollektivmodellering. En håndtering av ønsket avreisetidspunkt/-ankomsttidspunkt og avvik fra disse pga. ruteavgangene kan muligens

bidra til å få beregnet en slags ventetid ved første påstigning, men denne funksjonaliteten er per dags dato ikke implementert i CUBE.

Testene vi har gjort så langt indikerer at sammensetningen av attraktive ruter i valgsettet i rutevalget påvirkes av de konkrete avgangstidene. I og med at antall attraktive ruter påvirker valgsannsynligheten for rutealternativene og beregning av ventetid ved bytte, kan resultatene virke inkonsistente. Det er spesielt problematisk ved sammenligning mellom en referanse- og tiltakssituasjon. Problemet med inkonsistens som følge av CUBE's metodikk for beregning av valgsett for attraktive ruter er tidligere belyst for frekvensbasert modellering. Denne inkonsistensen skyldes måten CUBE definerer et valgsett for attraktive rutealternativer, uavhengig av rutevalg algoritme.

En fullskala modellering av tidtabellbasert rutevalg forutsetter tilgang til rutetabellinformasjon på avgangsnivå. Denne informasjonen finnes, men det mangler en entydig metodikk for hvordan rutetabellinformasjonen oversettes til bruk i transportmodeller. Med opprettelse av en nasjonal rutedatabank kan dette på sikt komme på plass. Innenfor dagens frekvensbaserte kollektiv rutevalg er det i noen tilfeller forsøkt å beskrive korresponderende ruter på en mer realistisk måte gjennom manipulering og detaljering av nettverk og rutebeskrivelse. Tilnærmingen går i hovedsak ut på å eliminere frekvensen til kollektivruten som den reisende skal bytte over til. Metoden har imidlertid sine begrensninger knyttet til retningsskjevheter for korresponderende ruter med ulikt servicenivå, og man mister noen av mulighetene for å modellere frekvensøkning i deler av kollektivreiseskjeden. Etter vårt syn passer metoden først og fremst for korresponderende ruter utenfor byområder med sjeldne avganger eller på langdistanse bussruter hvor overgang skjer mellom ruter med lav frekvens. En av grunnene til dette er at størrelsen på ventetiden har relativt liten betydning (blir lav) i et kollektivnettverk med hyppige avganger. Ved beslutninger om hva som gjøres med korresponderende ruter bør man ta hensyn til at kompleksiteten i nettverket og rutebeskrivelsene vil øke. Dette innebærer bl.a. at det blir mer krevende å oppdatere og tolke resultatene. Merverdien av modellering av korresponderende kollektivruter bør vurderes opp mot merarbeidet som den valgte tilnærmingen medfører.

5 Referanser

Citilabs (2012) *Cube Voyager Tutorial. Modeling Timetables in PT.*

Citilabs (2016) *Brukermanual for CUBE Voyager.* Help sider i programvaren CUBE.

COWI (2017) Utdrag fra brukermanualen til PTVs VISUM-modell, mottatt per epost den 27.04.2017 fra Søren Frost v/COWI Danmark.

INRO (1998) *EMME/2 Users`s Manual*

PROSAM (2015) *Reisevaner i Oslo og Akershus RVU 2013/2014*

PROSAM (2016) *Oppdatering av nettverk og rutebeskrivelser .* PROSAM-rapport 221.

Steinsland (2011) *Rutevalg for kollektivtransport i CUBE Voyager.* TØI arbeidsdokument 2339/2011.

Malmin m. fl. (2017) *Prosjektnotat til utarbeidelse av retningslinjene for pågående byutredninger.* SINTEF prosjektnotat N-15/16

Vedlegg 1

Gjennomgang av parametersetting for rutevalg

To filer som definerer valg og innstilling for rutevalg:

- Systemfil (System File)
- Faktorfil (Faktor File)

I systemfilen (System File) defineres mulige kollektivtransportformer (MODE) og ventetidskurver (WAITCRVDEF) som er tillatt i kollektivsystemet. Som standard i RTM brukes en felles ventetidskurve hvor ventetid er definert som halvparten av frekvensen med maksimal ventetid på 120 minutter.

I faktorfilen (Factor file) defineres en rekke parametere som styrer rutevalg. Her er det også mulig å differensiere ulike innstillinger for ulike kollektivtransportformer.

Eksempler på hva de ulike parameterne betyr:

IWAITCURVE=1, NODES=3-999999

Ventetidskurven 1 benyttes ved 1. påstigning. Gjelder alle nodene i kollektivsystemet (dvs node 3 til 999999).

XWAITCURVE=1, NODES=3-999999

Ventetidskurven 1 benyttes ved bytte. Gjelder alle nodene i kollektivsystemet.

WAITFACTOR=1, NODES=3-999999

Ventetidsfaktor 1 benyttes ved bytte. Gjelder alle nodene i kollektivsystemet.

REWAITMAX=120

Maksimal ventetid i kollektivsystemet. Dersom REWAITMAX = 0 blir ikke ventetid tatt hensyn til ved utvelgelsen av aktuelle kollektivruter.

RUNFACTOR[100]=1.00

Vekting av ombordtid eller tilbringertid. Spesifiseringen skjer gjennom MODE-definisjonen (her mode 100). Det er mulig å spesifisere ulik vekting for ombordtid avhengig av kollektivdriftsarter (skinnefaktor), f.eks:

RUNFACTOR[101]=1.00

RUNFACTOR[102]=1.00

RUNFACTOR[1]=1.00

BRDPEN=15*10

Påstigningsstraff for mode=1-15 = 10 minutter

BESTPATHONLY=F

Må settes til FALSE (F) når FREQUENCYCOST eller timetable assignment brukes.

MAXFERS=4

Maksimal antall tillatte bytter i kollektivsystemet

EXTRAXFERS1=1

En av tre parametere som styrer avgrensningen av antall ruter som blir vurdert i utvelgelsen av attraktive ruter i 1. trinn av rutevalgsalgoritmen. EXTRAXFERS1 angir maksimalt antall bytter som er tillatt i valgsettet.

EXTRAXFERS2=1

En av tre parametere som styrer avgrensningen av antall ruter som blir vurdert i utvelgelsen av attraktive ruter i 1. trinn av rutevalgsalgoritmen. EXTRAXFERS2 angir antallet bytter aktuelle ruter kan ha utover det antall bytte som man minimum må ha på et OD-par. For eks. dersom EXTRAXFERS2 settes til 1 og rutevalget som gir minimum generalisert reisekostnad mellom A og B innebærer 2 bytter, vil alle rutevalgene som innebærer opptil 3 bytter (2 + 1) mellom A-B bli vurdert som attraktive og inngår i valgsettet.

I utvelgelsen av valgsettet for attraktive ruter, ROUTE ENUMERATION, bestemmes valgsettet av tre parametere: MAXFERS, EXTRAXFERS1 OG EXTRAXFERS2. Den minste verdien av de tre parametere bestemmer antall bytter som er tillatt i attraktive rutevalg. Rutevalg med antall bytter som overstiger tillatt antall bytter blir ikke tatt med i valgsettet.

ALPHA=1

Relativ vektning av tilbringertid (gangtid) i forhold til øvrige GK av reisen. Settes til 1 da vektning av tilbringertid styres gjennom fastsetting av RUNFACTOR.

SERVICEMODEL=FREQUENCYCOST

Rutevalgmodell som både tar hensyn til frekvens og kostnad. Det forutsettes at trafikantene tar hensyn til den totale reisetiden til de aktuelle rutene slik at rutevalg ikke bare tar hensyn til frekvens fra første påstigning, men også den totale reisetiden. Dersom det finnes flere enn ett aktuelt rutevalg mellom A og B blir det beregnet en sannsynlighet for hvert av rutevalgene ut i fra frekvens og kostnad. Anvendes ved frekvensbasert rutebeskrivelse og forutsetter at trafikantene ankommer holdeplassen på tilfeldig tidspunkt uten kjennskap til konkrete avgangstidspunkter. Definerings av valgsettet starter med rutevalget som gir lavest GK til destinasjonen, dernest blir nest-best ruten vurdert ut ifra en test på EXCESS TIME. EXCESS TIME styrer rutevalg som inngår i de endelige rutevalgalternativene som reisene blir fordelt på. EXCESS TIME defineres som differansen mellom reisetid med rutevalg X og gjennomsnittlig reisetid med ruter som allerede er "godkjent". Dersom EXCESS TIME = 0 betyr det at rutevalg X ikke innebærer lengre reisetid enn de rutevalg som allerede er godkjent. Rutevalg X blir inkludert i valgsettet.

EXCESS TIME > forventet ventetid. Rutevalg X forkastes. Trafikantene er mer tjent med å vente på en av de rutene som allerede er godkjent.

"Mellomting". Rutevalg X blir godkjent dersom:

SHORTESTWALK=F

Dersom SHORTESTWALK = T vil utvelgelsen av attraktive ruter favorisere rutekombinasjoner med kortest mulig gangavstand.

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 tverrfaglig miljø med rundt 70 høyt spesialiserte forskere.

Instituttet utgir tidsskriftet Samferdsel med 10 nummer i året 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 transport 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