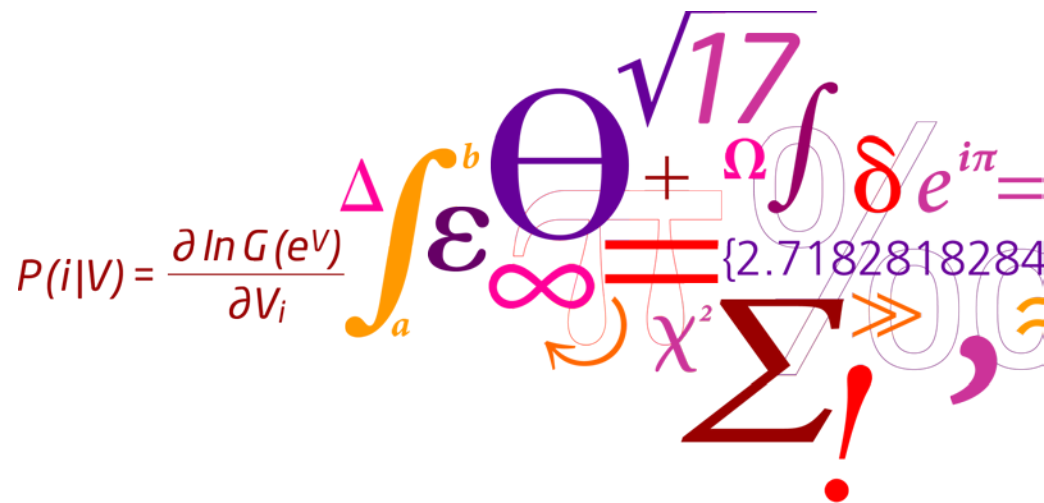


Kombineret frekvens- og køreplansbaseret rutevalgsmodel for kollektiv trafik i Landstrafikmodellen

- Otto Anker Nielsen

$$P(i|V) = \frac{\partial \ln G(e^V)}{\partial V_i}$$


The image contains a collection of colorful mathematical symbols and expressions. On the left, the equation $P(i|V) = \frac{\partial \ln G(e^V)}{\partial V_i}$ is displayed. To the right, there is a collage of symbols including:

- A yellow integral symbol \int_a^b with a pink triangle above it.
- A purple Greek letter Θ .
- A purple Greek letter Ω .
- A purple Greek letter δ .
- A purple exponential function $e^{i\pi}$.
- A purple infinity symbol ∞ .
- A purple Greek letter χ^2 .
- A purple summation symbol Σ .
- A purple number $\sqrt{17}$.
- A purple number $\{2.7182818284\}$.
- A purple arrow \gg .
- A purple comma $,$.
- A purple exclamation mark $!$.

Overblik

- Ønsker/krav til den kollektive rutevalgsmode
- Eksempler på konfigureringer og anvendelser
- De kommende versioner
 - Version 0.x, 1 og 2
- Specielle problemstillinger vedrørende kombineret frekvens og køreplansbaseret rutevalg
- Kort opsummering

Kollektiv trafik

- Forskellige ønsker
- Frekvensbaseret
 - Hurtig vurdering af scenarier
 - Undgår at skulle kode eksakte køreplaner
 - Undgår at skulle justere køreplaner for hele busnettet ved beregninger af baneprojekter
 - Resultat afhænger af principper for frekvensaggregering samt for antagelser om skiftetider
- Køreplansbaseret
 - Mere nøjagtig – eksakt beskrivelse af skiftetider og køreplaner uden fast frekvens
 - Konkret behov ved brug af modellen til vurdering af køreplaner
 - Stort kodelarbejde, stor regnetid
- Aggregeret nationalt niveau
- Detaljeret regionalt niveau
- Løsning på sigt; Både og
 - Byggende på samme net og datamodel (grunddata)

Nationale og regionale modeller

- National model, niveau 2
- ØstDanmark model
 - Niveau 3 Øst Danmark
 - Niveau 1 Vest Danmark
- VestDanmark model
 - Niveau 3 Vest Danmark
 - Niveau 1 Øst Danmark

Eksempel på mulige konfigurationer

Model-niveau	Jernbaner	Regionale busser og store busruter	Lokale busser
National	Frekvens-baseret	Zoneophæng	Zoneophæng
	Køreplans-baseret	Frekvensbaseret	Zoneophæng
Regional	Frekvens-baseret	Frekvensbaseret	Zoneophæng
	Køreplans-baseret	Frekvensbaseret	Frekvensbaseret
	Køreplans-baseret	Køreplansbaseret	Frekvens- eller køreplan

Eksempel på anvendelser

Model-niveau	Jernbaner	Busruter	Anvendelse
National	Frekvens-baseret	Zoneophæng	Overordnet trafikpolitik
	Køreplans-baseret	Frekvensbaseret/ zoneophæng	Konsekvensvurdering, køreplanlægning af IC/fjerntog
Regional	Frekvens-baseret	Frekvensbaseret/ zoneophæng	Overordnet trafikpolitik på regionalt niveau
	Køreplans-baseret	Frekvensbaseret	Konsekvensvurdering og køreplanlægning af jernbanenet, overordnet planlægning af busnettet
	Køreplans-baseret	Køreplansbaseret	Detailplanlægning af busnet

eksempler på brug

Planlægnings-niveau	Eksempler på brug
National strategisk planlægning	Indledende vurderinger af timemodellen, Kattegatbro, højhastighedsbaner
National taktisk planlægning	Konkret vurdering af timemodellen. Vurdering af standsningsmønstre i Intercity- og regionaltogtrafikken
Regional strategisk planlægning	Indledende vurdering af letbaner i København og Århus. Overordnede overvejelser om prioritering af lyntog, IC-tog og regionaltog
Regional taktisk planlægning	Vurdering af konkrete køreplaner i tognettet. Vurdering af potentialet for nye stationer. Overordnet prioritering af de regionale busnet
Regional operationel planlægning	Detailvurdering af tog- og letbaneprojekter. F.eks. stationsplaceringer, justeringer af busnet, potentiale for parkér og rejs på konkrete stationer. Mere detaljeret planlægning af det overordnede busnet i en region
Lokal planlægning	Konkret planlægning af det samlede busnet i en region, eller justeringer af specifikke regionale busruter

Kollektiv model, version 0.x

- Metode
 - Stokastisk brugerligevægt
 - Forskellige nyttefunktioner for forskellige turformål
 - Bus, tog, tilbringertransport, skjult ventetid, ventetid, skiftetid, skiftestraf
 - Fordeling af tidsværdier inden for et turformål
 - Tilbringertransport som zoneophæng
 - **Køreplansbaseret**
 - Fordeling over døgnet
- Estimering
 - Eksisterende nyttefunktioner baseret på tidligere studier
- Data
 - Grove matricer
 - Nationalt niveau 2

Tidligere parametre (tidsværdier, kh-rg)

Kr/time	BA	Erhverv	Uddannelse&fritid
#Observationer	3.446	909	4.208
Bus	35	285	12
S tog	27	227	9
Reg / IC	27	194	9
Adgangstid	45	270	20
Skjult ventetid	16	73	7
Vente- & skiftetid	38	270	28
Forsinkelsestid	49	389	32
Siddeplads	2,6	19	3,0
Skiftestraf (fast)	8,8	64	4,0

Kalibrerede parametre (tidsværdier)

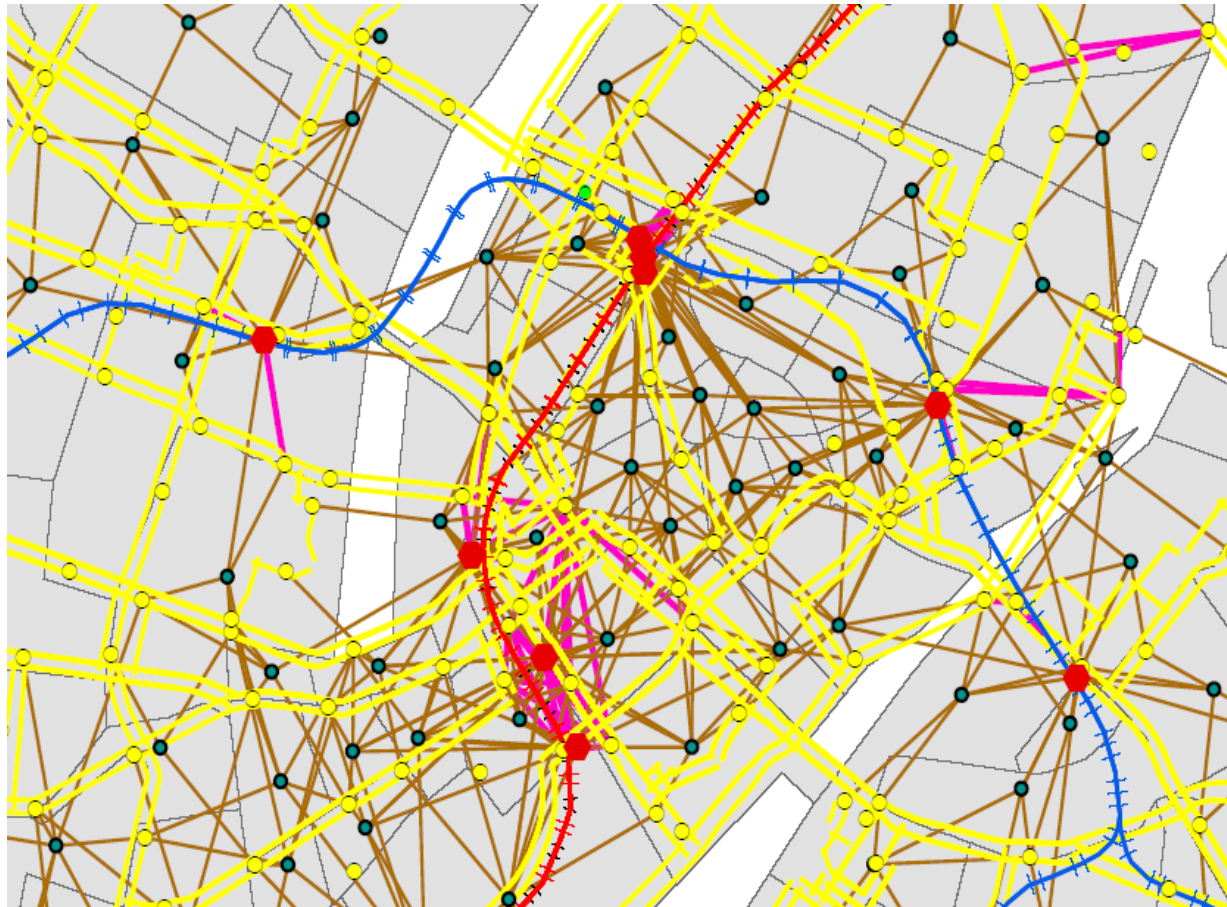
Kr/time	BA	Erhverv	Uddan. Fritid
Bus	11	282	34
Letbane	10	245	29
Metro	7	181	22
S tog	9	227	27
Reg / IC	11	265	32
Adgangstid	45	300	20
Skjult ventetid	20	168	7
Vente- & skiftetid	38	288	18
Skiftestraf (fast)	7	25	4,0

Kollektiv trafik, data

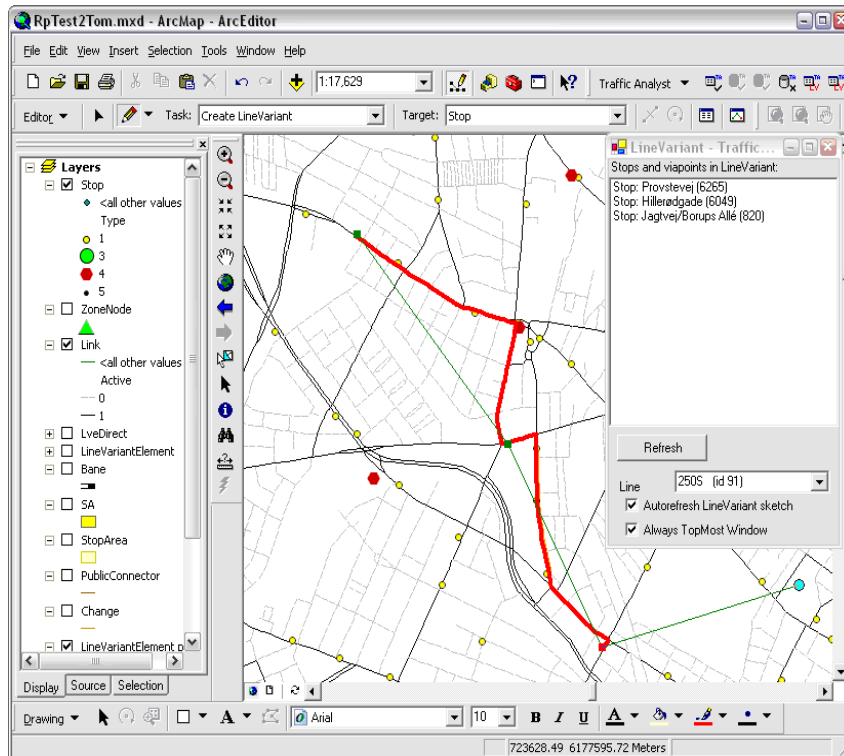
- Generel model
 - Køreplaner baseret på rejseplanen.dk
 - Manuel skelnen mellem systemer
 - Forskellige data om skiftemuligheder
 - Forskellige data om parkér og rejs faciliteter
 - Busruter linkes til vejnet
 - Tællinger fra flere kilder
- Rutevalg
 - Nye TU (Transportvaneundersøgelsen) rummer information om rutevalg
 - Sekvens af tilbringertransport og linjer i den kollektive trafik

Eksempel på net (tidligere version)

- Centrum af København



Implementering i ArcGIS og Traffic Analyst



LineVariant Schedules

Schedule: 141

Save Schedule | Add Schedule | Delete Schedule

StopID	StopName	Arrival	Departure	Disembark	Embark	ID	Minutes	Time
25182	Flintholm st. (bus)	-	0	-	<input checked="" type="checkbox"/>	210	292	4:52:00
25226	Jernbane Allé	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	73	322	5:22:00
6109	Langdraget	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	49	345	5:45:00
5172	Peter Bangs Vej/Ålekiste	2	2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	141	360	6:00:00
7	Ålholm Plads	4	4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	142	375	6:15:00
9584	Valby Langg/Vigerslev Ve	4	4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	156	389	6:29:00
9384	Maribovej	5	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	50	402	6:42:00
9228	Hansstedvej	5	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	211	1127	18:47:00
9346	Landlystvej	7	7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	212	1145	19:05:00
6120	Lykkebovej/Vigerslevvej	7	7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	51	1175	19:35:00
9611	Vigerslevv/Vigerslev All	9	9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	157	1205	20:05:00
1078	Folehaven/Vigerslevvej	9	9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	52	1235	20:35:00
7578	Danhaven	10	10	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	143	1265	21:05:00
9681	Hestehaven/Folehaven	11	11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	158	1295	21:35:00
6183	Retortvej/Folehaven	12	12	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	53	1325	22:05:00
340	Ellebjerg st./Folehaven	12	12	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	54	1355	22:35:00
351	Ellebjerg st. (bus)	13	13	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	144	1385	23:05:00
5224	Spontinisvej	15	15	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	74	1415	23:35:00
9212	Håndelsvej	16	16	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	55	1445	0:05:00
9464	Rubinsteinsvej	17	17	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			

Always TopMost Window

Add Run | Delete Runs

Generelt om brugerflade

- Ambitionen er, at mange slutbrugere kan bruge modellen
 - Transportministeriet, Trafikstyrelsen, BaneDanmark, DSB
 - Trafikselskaber
 - Rådgivere
 - ,...
- I første fase basisfaciliteter for DTU Transport / de strategiske analyser
- I efteråret dialog med brugergruppen

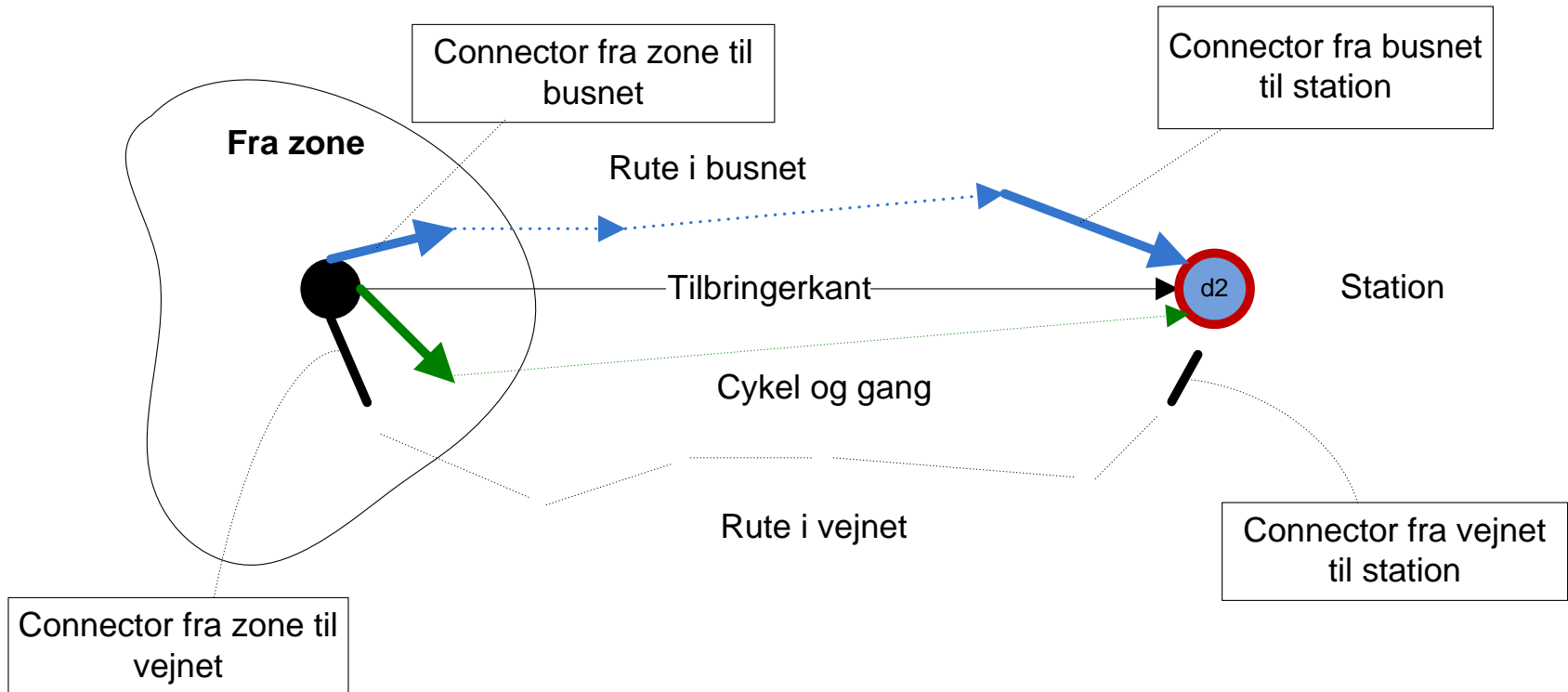
Kollektiv model, version 1

- Metode
 - Stokastisk brugerligevægt
 - Forskellige nyttefunktioner (tidsværdier, betalingsvilje) for forskellige turformål
 - Fordeling af tidsværdier inden for et turformål
 - **Tilbringertransport som diskret valgmodel**
 - **Køreplansbaseret**
 - Fordeling over døgnet
- Estimering
 - **Re-estimerede nyttefunktioner baseret på TU**
- Data
 - **Nye matricer**
 - Nationalt og regionalt niveau (1 konfiguration for hvert af de to niveauer)

TU data

- Siden den nationale transportmodel blev besluttet blev TU ændret/udvidet;
 - Ved kollektive ture spørges nu om ruten
 - Dvs. viden om linjer og hvor der skiftes
 - Bedre viden om tilbringertransport
- Analyseres i forskellige projekter
- Problemstillinger
 - En del data kræver fortolkning/manuel vurdering (ca. 25%)
 - En del ruter er "trivielle" (dominerende alternativ, f.eks. Direkte stationsnær togbetjening fra hjem til arbejde)
 - Generering af alternativer til modelestimation

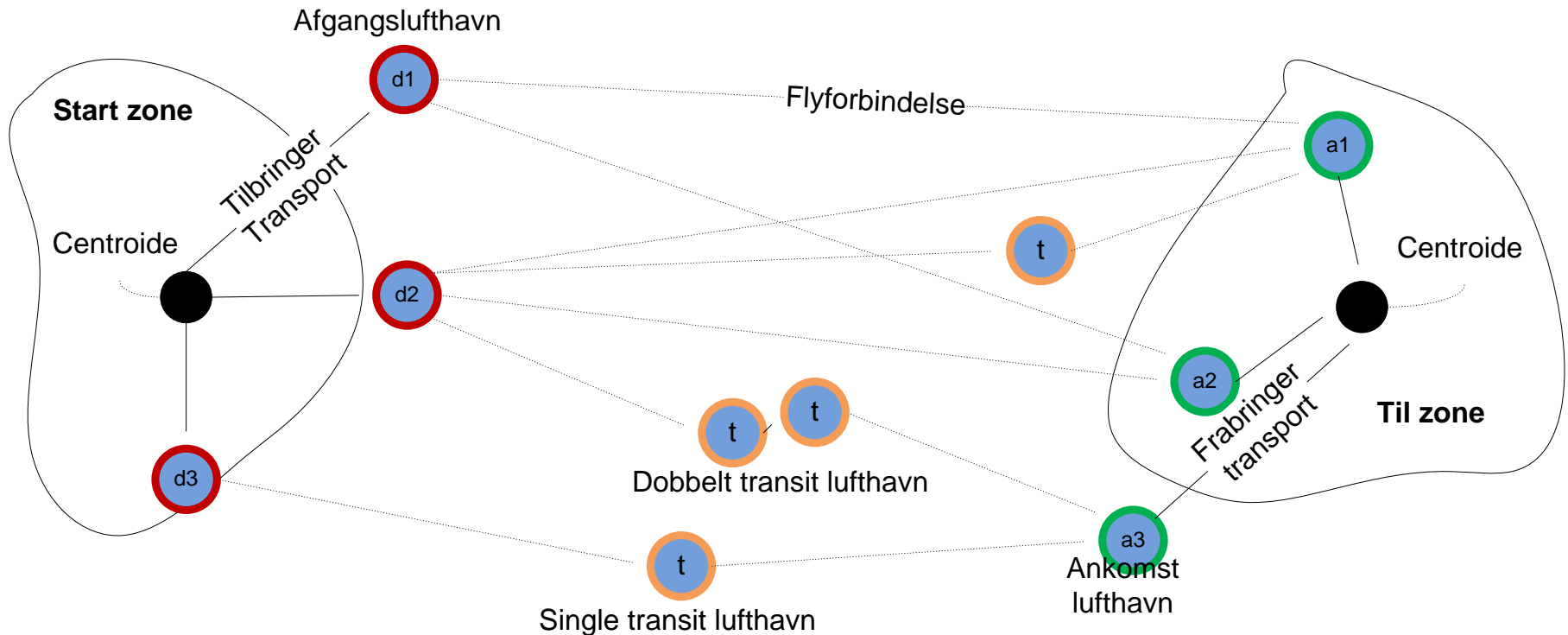
Modellering valg af tilbringertransport



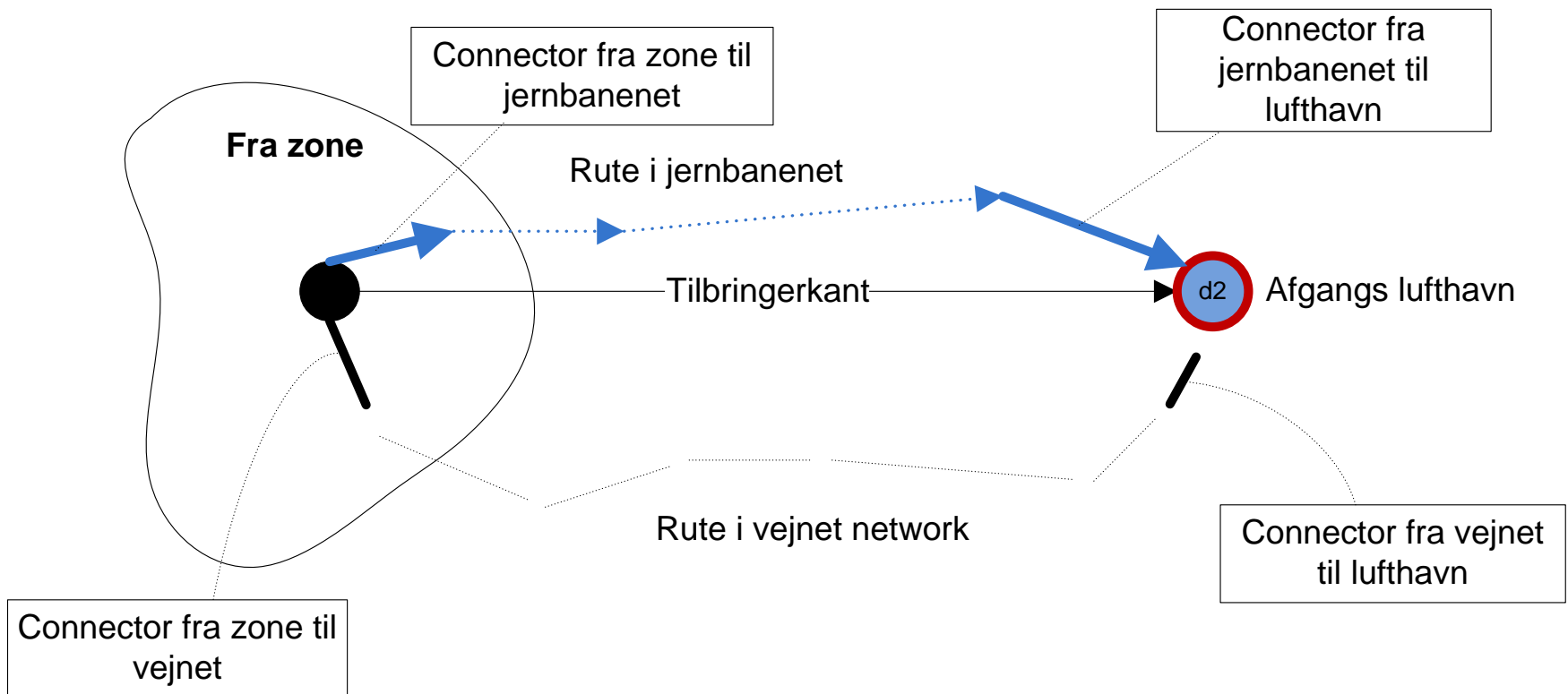
Fordel ved diskret valgmodel for tilbringertransport

- Terminalspecifikke variabler kan indgå
- Cykel
 - Overdækket cykelparkering
 - Aflåst cykelparkering
 - Oplevet sikkerhed ved station
- Parkér og rejs
 - Mulighed for parkering
 - Officielt parkér og rejs anlæg
 - Gadeparkering
 - Gennemsnitlig belægning (kan man altid får en parkeringsplads)
 - Afstand mellem parkeringsanlæg og stationen

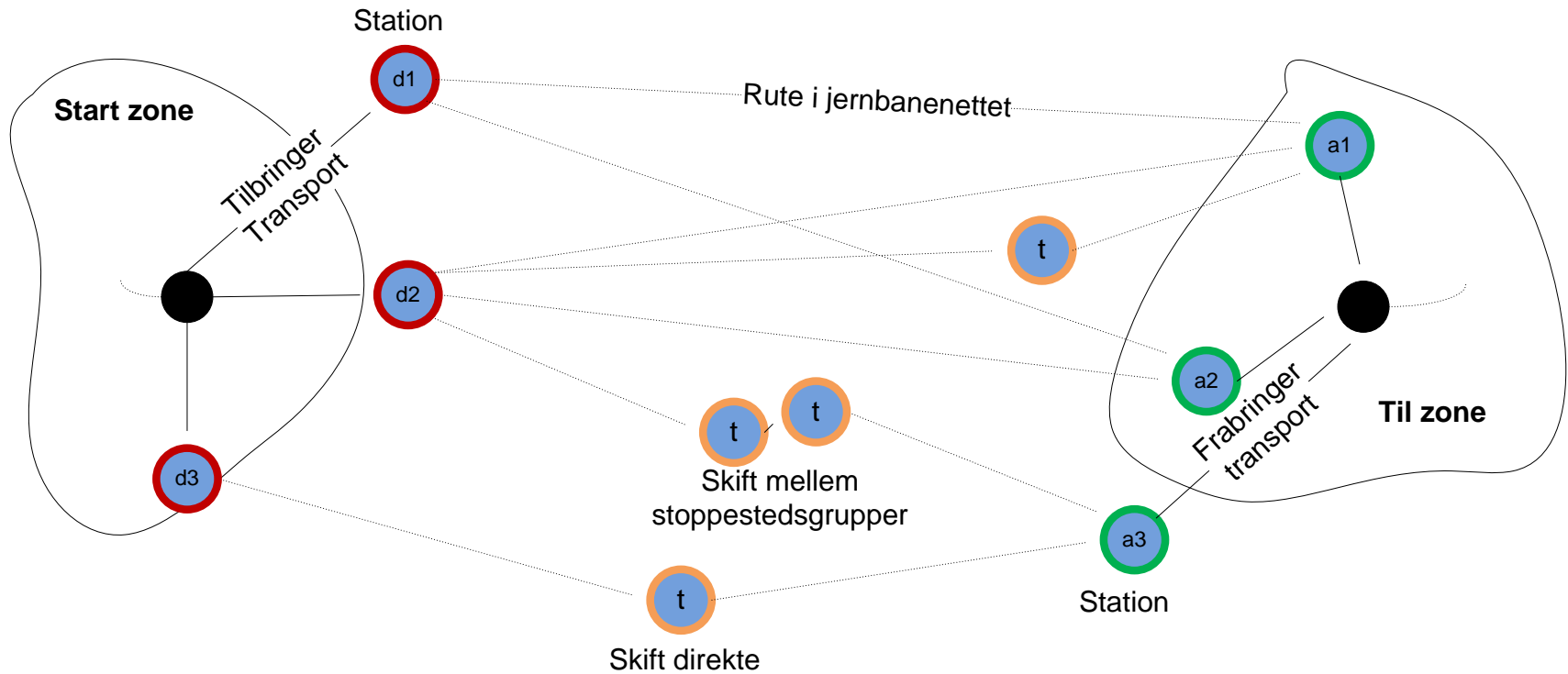
Eksempel fra den Europæiske Transtoolsmodel



Eksempel fra TransTools



Metodik overført til national/regional skala



Kollektiv model, version 2

- Fleksibel køreplans- og frekvensbaseret model
- Modellering af gangnet ved skift

- Måske (**pt. ikke budgetlagt**) modellering af forsinkelser

Generelle problemstillinger, implementering

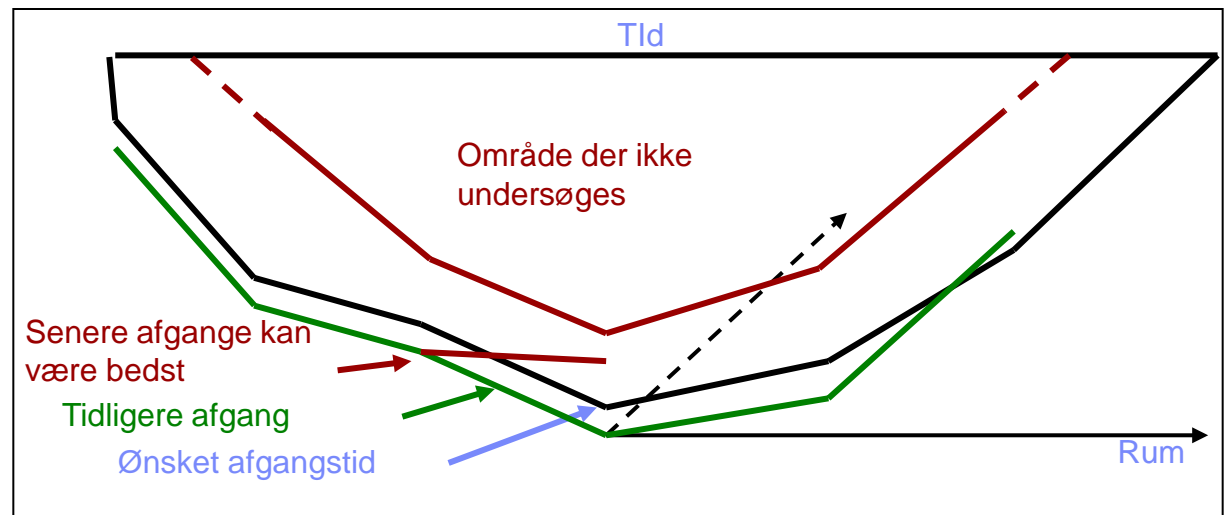
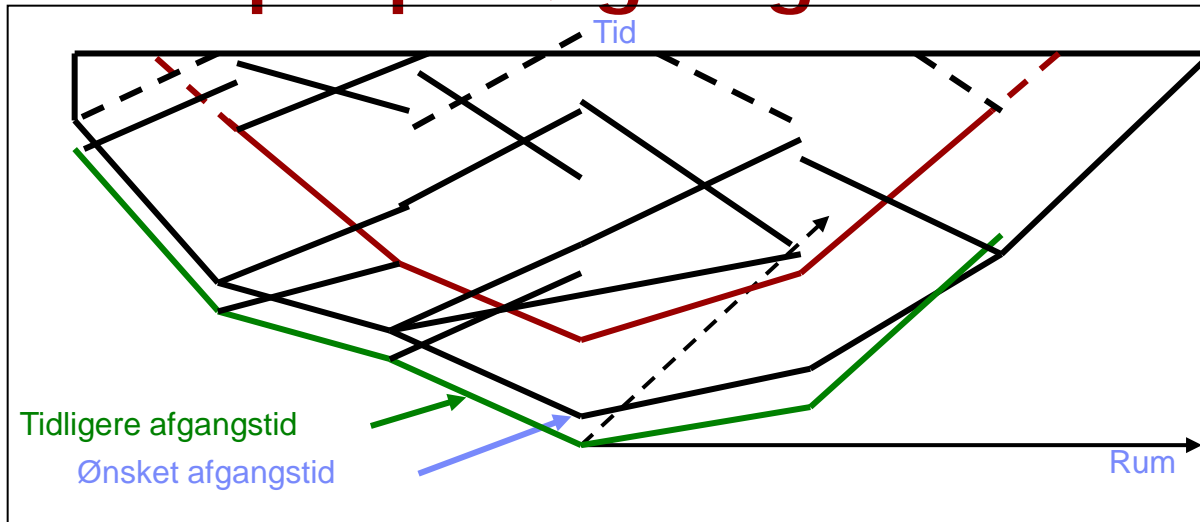
- Urealistisk at regne køreplansbaseret for hele landet
- Beregningsgraf 5,4 Gb
- Den regionale model ville tage 380 dage at løse og kræve 133 Gb RAM

GI. public														
zoner	turfomål	iterationer	tidsbånd	costs	matrix	stoch-sim	matrix-storage	thinning	cpu	timer	dage	RAM (GB)	launches pr døgn	service types
2500	5	1	1	std	fuld	no	big-array	no	1 core	3,3	0,1	14,5	1	10
2500	5	1	1	std	2 elems	no	big-array	no	1 core	0,0	0,0	5,4	1	10
2500	7	1	10	std	fuld	no	big-array	no	1 core	182,0	7,6	132,8	40	10
2500	7	50	10	std	fuld	no	big-array	no	1 core	9100,0	379,2	132,8	40	10
800	7	50	10	std	fuld	no	big-array	no	1 core	931,8	38,8	18,4	40	10

Mulige løsninger

- Matrix udtynding reducerer antal celler i matricerne
- Frekvensbeskrivelse af nogle linjer reducerer grafens størrelse
 - Alene beskrivelse af standsningsmønstre og frekvens, i stedet for samtlige vognløb i detaljer
- Tilnærmelsesteknikker hvor hele køreplanen ikke undersøges
- Arbejde bygger videre på tidligere reference
 - Nielsen, Otto Anker and Frederiksen, Rasmus Dyhr (2008). Large-scale schedule-based transit assignment – Further optimisation of the solution algorithm. **Schedule-based Modelling of Transportation Networks: Theory and Applications**. Series: Operations Research/Computer Science Interfaces. Vol 46. (Eds) Wilson, Nigel H.M. & Nuzzolo, Agostino. Springer, ISBN: 978-0-387-84811-2

Eksempel på søgninger i net



Reducering af beregningsgrafen

- En komplet graf (diachronic networks, duale net, ...) – er potentiel langsom og stor (enorm hvis hele grafen undersøges i tid og rum)
- Regelbaseret rutevalg
 - Mulige at reducere grafens størrelse med komplekse regler
 - Komplekse regler er processor krævende (if then logik, algebraiske operationer, etc.)
 - Risiko for at optimal rute overses ved for grov reduktion af grafen
- Dominerende alternativer (Event dominance)
 - Grafen bygges dynamisk mens ruten findes
 - Opdatering af tid og nytte på stopgruppeniveau, ikke på grafniveau

Optimering, begrænsning af søgning i tidsdimensionen

- Igangværende arbejde på heuristikker til at reducere graf størrelsen
 - Afgrænsning af søgning i tid i stopgrupper (senere afganges droppes)
 - Significant forbedring af regnetid (50% med 40 min. grænse i kbh i tidligere net)
 - Vanskeligt at garantere optimal rute
 - Forskellige muligheder for tilbagesøgning i tid (kompliceret at implementere)

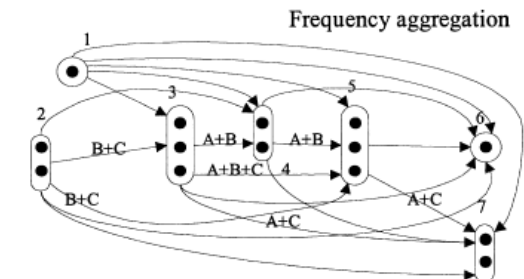
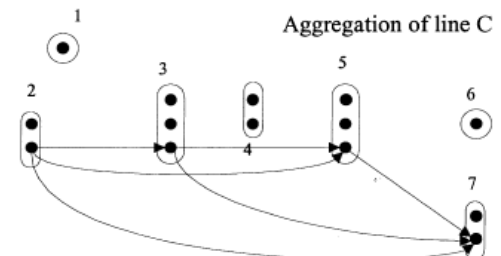
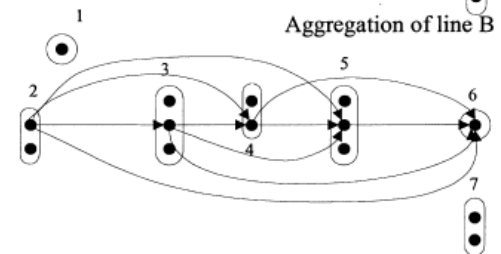
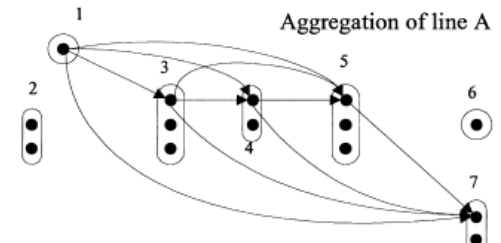
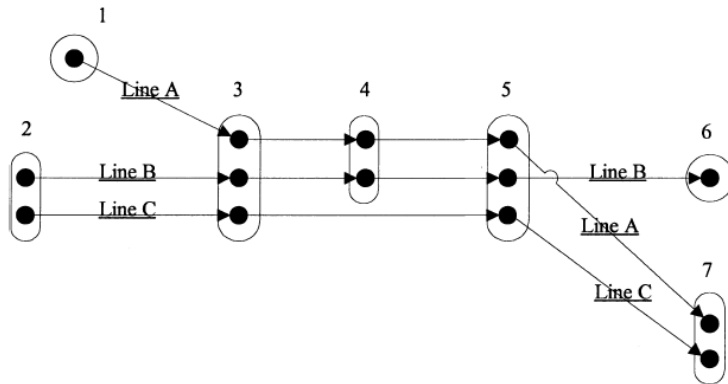
Graf reduktion

- Mere grove regler end dominerende alternativer (event dominance)
 - Ingen tidligere eller senere afgang (meget grov)
 - Mellem 50% - 90% reduktion af grafens størrelse
 - Kan være langt fra den optimale løsning
 - => Droppet
 - Kun første afgang med hver linje
 - Grafreduktion svarende til antal afgange
 - Omkring 75% reduktion af grafen i Kbh
- Løsninger kan afvige fra optimum
 - Vente i en bedre terminal
 - Skjult ventetid (kan løses ved tilbagesøgning i grafen, men øger regnetid og programmeringskompleksitet)

Regler ved frekvensbaseret modellering

- Hvordan håndteres linjer der er parallelle og med samme standsningsmønster?
 - Afhængig af metode, opnås forskellige valgsandsynligheder – især hvis der er et andet tredje alternativ
- Metoder
 - Første afgang af alle linjer (oversættelse til "køreplan") med gennemsnitlig ventetid
 - Frekvensaggregering
- Test sammenlignet med den køreplansbaserede model kan finde metoder, der opnår rimelige resultater
- Referencer;
 - Nielsen, Otto Anker(2000). A Stochastic Traffic Assignment Model Considering Differences in Passengers Utility Functions. **Transportation Research Part B Methodological**. Vol. 34B, No. 5, pp. 337-402. Elsevier Science Ltd.
 - Camilla Riff Brems (2002?). **Traffic models with special focus on public transport**. Ph.d.-afhandling

Eksempel på kompleksitet



Opsummering

- Gennemgang af forskellige faser af modeludvikling af kollektive rutevalgmodeller i NTM
- Version 0.x;
 - Køreplansbaseret, nationalt niveau, tilbringertransport som zoneophæng
- Version 1;
 - Køreplansbaseret, diskret valgmodel for tilbringertransport, regionale varianter
- Version 2;
 - Kombineret køreplans og frekvensbaseret
 - Kræver en hel del udvikling, programmering og tests for både at kunne beskrive rutevalg og have en overkommelig regnetid