

EN VEJVALGSMODEL FOR FLERE TRAFIKANTKLASSER

Otto Anker Nielsen
Forskningslektor, Ph.D.
Institut for Planlægning - Trafikstudier, DTU. Bygning 115, 2800 Lyngby
Tlf. 4525 1514. Fax. 4593 6412. Email: onielson@ivtb.dtu.dk

Rasmus Dyhr Fredriksen
Civ.Ing.
TetraPlan A/S. Kronprinsessegade 46E. 1306 København K.
Tlf.: 3373 7100. Fax : 3373 7101. E-mail: rdf@tetraplan.dk

Artiklen præsenterer implementeringen af en større stokastisk vejvalgsmodel for flere trafikantklasser for Hovedstadsområdet og viser hermed fordelene ved at benytte sådanne modeller. Modellen omfatter personbiler, der er opdelt efter turformål samt varebiler, lastbiler og busser - med hver deres nyttefunktion. Delmodeller beskriver kødannelser og geometriske forsinkelser i vejkryds og rundkørsler. Dette inkluderer bl.a. modellering af grønne bølger (koordinerede vejkryds). Artiklen indeholder nogle metodologiske og praktiske betragtninger, der er væsentlige, når vejvalgsmodeller til flere trafikantklasser anvendes i fuldskala applikationer.

1 INDLEDNING

Stokastiske vejvalgsmodeller, der beskriver flere trafikantklasser giver mere virkelighedstro beskrivelser af trafikanternes rutevalg: Bolig-arbejdsstedsrejsende kan eksempelvis forventes at have et bedre kendskab til vejnettet end ferierejsende, erhvervsrejsende har en større tidsværdi end studerende, lastbiler accelererer langsommere end personbiler, etc.

Artiklen beskriver en model, der er udviklet i samarbejde mellem IFP og TetraPlan. Grundlæggende bygger den på Daganzo og Sheffi's princip om stokastisk bruger ligevægt fra 1977 (Stochastic User Equilibrium, SUE). Dette kan som vist af Sheffi & Powell (1982) løses med den såkaldte successive gennemsnits metode (Method of Successive Averages, MSA). Denne er den eneste løsningsalgoritme, som garanterer konvergens i et strækningsbaseret net. SUE er endvidere probit-baseret, hvorved den kan håndtere delvist overlappende ruter. Den oprindelige SUE er siden videreudviklet til at beskrive forskelle på trafikanters præferencer (Nielsen, 1996a), opnå konsistens i de benyttede statistiske fordelinger (Nielsen, 1997b) samt inkludere modellering af forsinkelser i vejkryds (Nielsen m.fl. 1997b & d).

I artiklen beskrives på baggrund af Nielsen (1998a) de yderligere modifikationer, der var nødvendige for at opbygge en model for flere trafikantklasser. Herved har den samlede model følgende egenskaber:

- Der benyttes forskellige hastighedskurver (speed-flow kurver) for forskellige strækningstyper og køretøjsarter. For 2-sporede veje tages hensyn til overhalingsmuligheder. Den modellerede lastbiltrafik inddrages i bestemmelsen af vejenes kapacitet, jfr. Vejreglernes metode.
- Bustrafikken udlægges direkte på vejenettet ifg. køreplanerne. Bustrafikken er således ikke omfattet af rutevalgsmodellen, men indgår i strækningsbelastningerne som "preload

traffic”. Hvor der er busspor, påvirker busserne ikke den øvrige trafik, mens de i andre tilfælde påvirker trafikken på samme måde som lastbiler.

- Der foretages en detaljeret beregning af forsinkelser i vejkryds. Denne håndterer både forsinkelser forårsaget af andre svingbevægelser (vigepligter) og geometriske forsinkelser (deceleration, sving og acceleration). Således modelleres samtlige svingbevægelser i det enkelte kryds. Der er separate delmodeller for signalregulerede kryds, prioriterede kryds og rundkørsler. Modellen for for signalregulerede kan beregne forsinkelser større end én grønperiode og kan håndtere grønne bølger. Geometriske forsinkelser afhænger af resultatet af de øvrige krydsmodeller samt af modeller for de tilstødende strækningers hastigheder.
- Der modelleres forsinkelser for samtlige kryds i vejnettet, hvorved der sikres en konsistent netbeskrivelse.
- Ud over særskilte kriteriefunktioner for vare-, last- og personbiler rummer modellen forskellige kriteriefunktioner (vægtning af længde, tid og omkostning) for de forskellige turformål for personbiltrafikken. Dette har eksempelvis i Københavnsområdet betydning for trafikanternes valg mellem motorvej versus ruter gennem byen, og har også betydning for scenarier, der inkluderer betalingsveje, bompenge og road-pricing, idet de forskellige trafikantklasser har forskellig betalingsvillighed og variation heraf.
- En væsentlig fordel ved at opdele trafikken i køretøjsarter er muligheden for at særskilt at estimere matricerne for hver køretøjsart. Herved kan vare- og lastbilmatricerne estimeres ud fra snittællinger ved hjælp af estimationsmetoden MPME, Nielsen (1998b).

Modellen er implementeret som en del af Ørestadsmodellen. Artiklen giver en række eksempler herfra.

Afsnit 2 beskriver tidligere arbejde med vejvalgsmodellerne, afsnit 3 viser flerklasse modellen og afsnit 4 de praktiske erfaringer, mens afsnit 5 rummer artiklens konklusioner.

2 TEORETISK GRUNDLAG

Nedenfor gives en kort beskrivelse af det teoretiske grundlag for modellen. For en nærmere beskrivelse henvises til Nielsen (1998a).

2.1 Stræknings-baseret stokastisk bruger ligevægt.

De tidlige logit-baserede stokastiske vejvalgsmodeller (f.eks. Dial, 1971) er baseret på den antagelse, at forskellige ruter er uafhængige. De fører således til problemer i vejnet med overlappende ruter (jvf. Sheffi, 1985, s. 294-297). Daganzo & Sheffi (1977) foreslog brug af probit-baserede modeller til at undgå dette. Løsningsalgoritmer herfor er f.eks. beskrevet i Nielsen (1996b) og Nielsen m.fl. (1997d).

2.2 Simulering af bilisters præferencer

Hvis en rute a betragtes for en trafikant b , kan den opfattede modstand c beskrives som:

hvor $c_{ab} = \beta_{1(b)} \cdot length_a + \beta_{2(b)} \cdot time_a$ er trafikant b 's rejsmodstandsfunktion. Indeks (ϵ_a) betyder, at rejsmodstanden (eller nytten) for hver strækning følger en fordeling.

$$c_{ab(\epsilon)} = (\beta_{1(b)} \cdot length_a + \beta_{2(b)} \cdot time_a)_{(\epsilon_a)} \quad (2)$$

$\beta_{1(b)}$ og $\beta_{2(b)}$ antages her og at være ens for alle trafikanter og det antages, at trafikanter kun inkluderer rejslængde og rejsetid i nyttefunktionen. Hvis vægten varierer for forskellige trafikanter, kan en stokastisk simulering af vægtene - betegnet ved $\beta_{1(\epsilon_1)}$ og $\beta_{1(\epsilon_2)}$ - dog selv modellere denne variation (som påpeget i Nielsen, 1996d & b, hvor en løsningsalgoritme også blev præsenteret):

$$c_{a(\epsilon)} = (\beta_{1(\epsilon_1)} \cdot length_a + \beta_{2(\epsilon_2)} \cdot time_a)_{(\epsilon_a)} \quad (3)$$

Hvis errortermer for ϵ_1 og ϵ_2 er nul, er modellen lig den traditionelle SUE model. Her vil trafikanterne følge ruter i forhold til den fastsatte vægt. Hvis errorterm for ϵ_a samtidig er forholdsvis stor, kan der være mange delalternativer til disse ruter. På den anden side, hvis errorterm for ϵ_1 og ϵ_2 er forholdsvis store, vil trafikanterne også vælge mellem forskellige hovedalternativer. Hvis errorterm for ϵ_a samtidig er lille, vil trafikanterne kun benytte få eller ingen subalternativer til disse hovedruter (de vælger rationelt i forhold til deres individuelle nyttefunktioner). På denne måde kan den stokastiske simulation varieres afhængig de enkelte trafikantklassers præferencer både mht. beta-værdierne størrelse og mht. fordelingsfunktion.

2.3 Hastighedskurver og ændring af strækningskapacitet

Rejsetiden forudsættes at følge BPR-formlen i hver retning (jfr. f.eks. HCM, 1985 & 1994):

$$time_a = time_{(0)a} \cdot \left(1 + \alpha \cdot \frac{T_a}{T_{(cap)a}} \right)^\beta \quad (4)$$

Hvor T_a er trafikken på strækning a , $T_{(cap)a}$ er den praktiske kapacitet, $time_{(0)a}$ den "frie" rejsetid (nul-trafik niveau) og α og β er parametre.

Strækningsspecifikke parametre (α_a og β_a) benyttes i den præsenterede model til at afspejle, at hastighedskurverne er forskellige for forskellige vejtyper: Trafikveje i byområder, motorveje, flersporede landeveje, 2-sporede landeveje, flersporede veje i byer, 2-sporede veje i byer, lokale veje, ramper, forbindelsesveje eller fiktive strækninger. Ved trafik udover den praktiske kapacitet bør lavere hastigheder anvendes, da BPR kurven er tilbøjelig til at overvurdere dem.

En simpel heuristisk fremgangsmåde er at anvende faste køhastigheder ud over den praktiske kapacitet. For 2-sporede veje beskrives påvirkning fra trafikken i den modsatte retning af Horowitz' (1997) ændring af BPR-formlen:

$$time_a = time_{(0)a} \cdot \left(1 + \alpha_a \cdot \left(\frac{T_{a(forward)} + \gamma \cdot T_{a(backward)}}{T_{(cap)a}} \right) \right)^{\beta_a} \quad (5)$$

Hvor γ er en parameter.

2.4 Modeller for forsinkelser i vejkryds

Nielsen m.fl. (1997b) præsenterede en vejvalgsmode for en enkelt trafikantklasse, der inkluderede forsinkelser i vejkryds. Da denne også er beskrevet i Nielsen m.fl. (1997d), opsummeres her blot dens væsentligste egenskaber. For vigepligtsregulerede kryds vil det sige modellering af:

Samlet forsinkelse = deceleration + forsinkelse ved kødannelse + ventetid på, at der kommer hul i hovedtrafikken + acceleration

Og for signalregulerede kryds:

Samlet forsinkelse = deceleration + forsinkelse ved kødannelse (overmætning) + ventetid på grønt lys + forsinkelse ved kødannelse + ventetid på, at der kommer hul i hovedtrafikken + acceleration

Beregningen af forsinkelser i *vigepligtsregulerede kryds* foregår i to etaper. Først beregnes kapaciteterne for svingbevægelser ud fra den indgående trafik med Harders (1976) tidsgab model. Derefter bruges en kødannelsesmodel til at beregne forsinkelserne, når trafikken ikke ligger indenfor overmætningsområdet. Da kødannelsesmodellen er en asymptotisk funktion, bruges en anden forsinkelsesmodel (Austroads, 1993), når trafikmængden nærmersig kapaciteten.

Den implementerede forsinkelsesmodel *til signalregulerede kryds* (Akcelik, 1996) er en generaliseret forsinkelsesmodel, der er i stand til at beregne forsinkelser både ved mætning og overflow. Akceliks model udvider HCM (1994) forsinkelsesprogressionsfaktormetode til at forudsige kølængden, hvor lang tid, det tager at opløse køen, hvor stor en del, der står stille og hvor mange, der holder i kø. Modellen er i stand til at modellere samspillet mellem flere signaler, f.eks. når de ankommende biler kommer samlet i stedet for tilfældigt. Den kan også beskrive virkningerne af grøn pil og signal-samordning.

Den *geometriske forsinkelsesmodel* er udviklet af Semmens (1985a & b), men bruges med Frederiksen & Simonsens ændringer (1997). Den geometriske forsinkelse afhænger af reguleringformen og svingretningen. For eksempel er der ikke nogen geometrisk forsinkelse ved kørsel ligeud fra primær vejen i et prioriteret kryds, medens man i et venstresving i et signalreguleret kryds typisk både skal decelerere og accelerere med sandsynlighed afhængig af

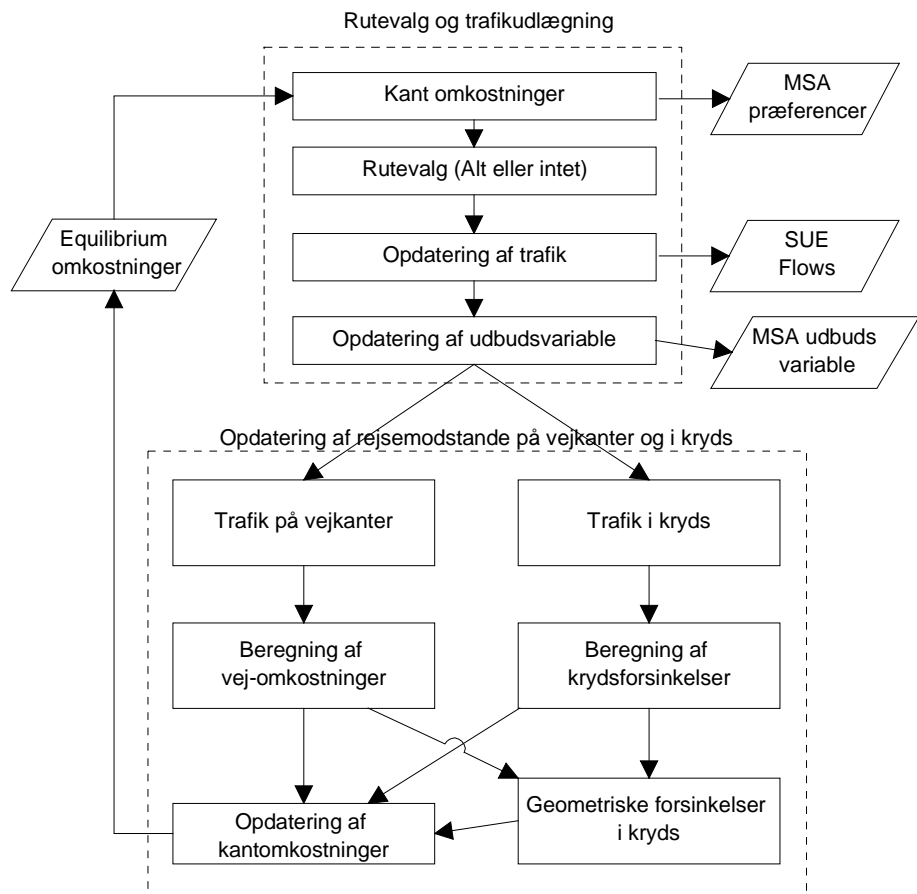
kømodellerne. Den geometriske forsinkelse afhænger også af de beregnede hastigheder (i forhold til hastighedskurver) ved til- og frakørsler.

3 MODELSTRUKTUR

Dette afsnit beskriver de ændringer i vejvalgsmodellen, der er foretaget af hensyn til inkludering af flere trafikantklasser og vogntyper.

3.1 sue-algoritme for flere trafikantklasser

Fig. 1 viser den grundlæggende fremgangsmåde for én iteration med modellen, hvor feedback mekanismen følger den successive gennemsnits metode (MSA).

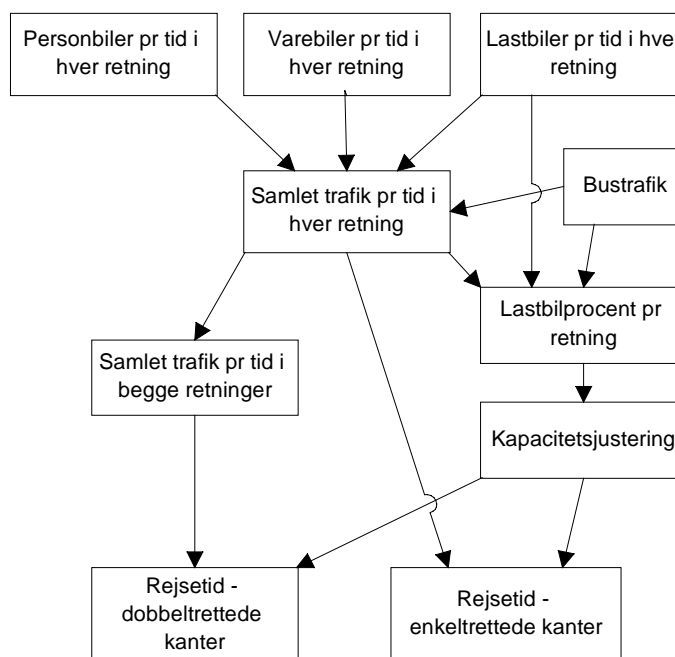


Figur 1. Princippet i assignmentmodellen

- Det første trin simulerer alle vægtninger i henhold til Log. Normalfordelingen og alle strækningsomkostninger i henhold til Gamma fordelingen. Alle klasser kan have forskellig vægt og varianser heraf.
- Nettet betragtes som en strækningsknode topologi, hvor nogle af strækningerne er “virkelige” (vejsegmenters fremadgående og tilbagegående retning), medens andre strækninger beskriver svingbevægelser. Hver klasse fastsættes uafhængigt af hinanden i henhold til sin egen nyttefunktion. Nielsen m.fl. (1997a & c) beskriver mere detaljeret, hvordan den ønskede topologi af disse “pseudo” strækninger og -knuder skabes automatisk fra en traditionel topologi af vejafsnit, kryds og sving.
- Dernæst opdateres strækningsbelastningerne (trafikmængder på vejstrækninger og i sving) i der bruges i vejvalgsmodellen. Omkostningen ved sidste MSA iteration kan på

grund af simuleringen godt være atypisk for nogle zonepar. Udbudsvariablene opdateres derfor efter MSA for alle iterationerne Dette blev vedtaget efter sammenlignende undersøgelser, hvor udbudsvariablene blev opdateret i alle trin, efter nogle trin eller kun i sidste trin.

- Når vejvalgsmodellen er kørt for en iteration, opsummeres trafikmængderne for alle trafikantklasser for hver vejstrækning (frem og tilbage) og svingbevægelse.
- Ajourføring af rejsemønstre består af to dele: 1) Ajourføring af rejsetider ved vejafsnit (jfr afsnit 2.5) og 2) Ajourføring af rejsetider ved vejafsnit med sving (jfr afsnit 2.6).
- Ajourføring af rejsetiderne ved vejafsnit er mere udførligt uddybet end i afsnit 2.5 for at beskrive interaktionen mellem tunge og lette køretøjer, jfr. Vejreglernes metode. Busser fordeles ind på vej- nettet efter en såkaldt pre-load metode, da de forudsættes at følge faste tidsplaner og ruter. De påvirker ikke den øvrige trafik, hvis de benytter specielle busbaner. Bortset herfra forudsættes de at påvirke kapaciteten på samme måde som lastbiler. Nogle veje i modellen indeholder kun bustrafik (ved busluser etc). Figur 2 viser de grundlæggende sammenhænge.
- Vejkryds modellerne beregner først forsinkelser, der skyldes kødannelser og vigepligt. Resultaterne heraf leverer input til de geometriske forsinkelsesmodeller (jfr. Afsnit 2.6. og figur 1).



Figur 2. Cost-flow beregning med flere køretøjstyper

3.2 Software

Softwaren er udviklet af Rasmus Dyhr Fredriksen i C++ og har udviklet sig hen ad vejen (følgende forfatterens referencer). standard GIS (ARC/INFO og ArcView) er anvendt til håndtering af net-topologien (jvf. Nielsen m.fl., 1997e), medens et ekspert system (Nielsen m.fl. 1997) er anvendt til at etablere data.

3.3 Ørestadstrafik-Modellen

Vejvalgsmodellens indgår nu i Ørestadstrafik-modellen, som består af en personmodel og en forenklet model for tunge køretøjer (varebiler og lastbiler). Personmodellen er grundlæggende

en hierarkisk logit-model, der beregner tur-matricer til tur-formål (bolig-uddannelse, bolig-arbejdssted og øvrige rejser), tidsperioder (morgen-myldretid, eftermiddags-myldretid, og det øvrige døgn) og transportmidler (inkl. forskellige offentlige transport sub-typer). Vare- og lastbilsmodellen er i øjeblikket meget enkel. Modellen er opdelt efter bilens vægt (varebiler og lastbiler) og tidsperiode.

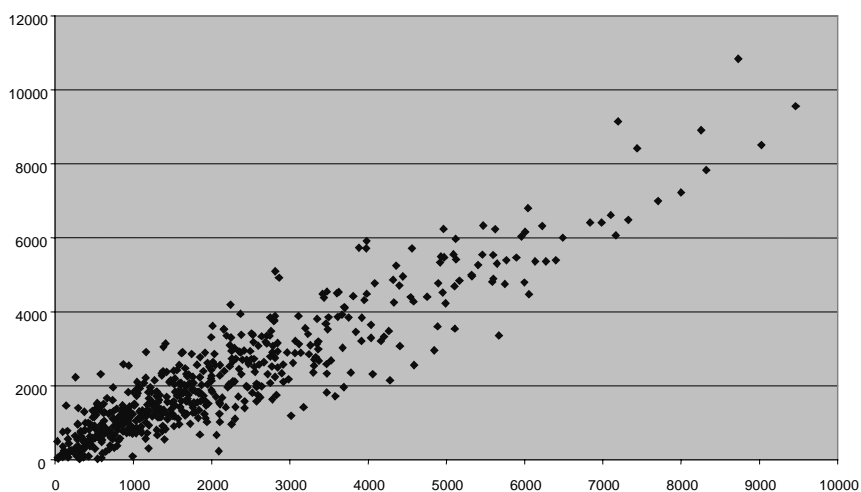
4 PRAKTISKE ERFARINGER

I det følgende præsenteres praktiske erfaringer med modellen. Modellen blev brugt på et fuldskalavejnet for København med 2.369 knudepunkter/kryds og 3.462 vejstrækninger. Dette resulterer i 6.108 modelstrækninger (frem og tilbage), 12.073 “pseudo knudepunkter” og 19.111 sving. Nielsen m.fl. (1997a) beskriver det Københavnske netværk mere detaljeret.

Resultaterne blev både sammenlignet med traffiktællinger og med en undersøgelse af rutevalg (Vejdirektoratet, 1990). Da de generelle analyser af resultaterne var meget omfattende, er kun nogle karakteristika medtaget i det følgende.

4.1 Kalibrering af modellen

Formålet med kalibreringen af modellen er at bringe modellen så tæt som muligt på den viden, som er til rådighed om trafiksystemet. Med givne turfordelingsmatricer drejer det sig om at tilpasse rutevalget, så den modellerede trafik og de talte trafikmængder afviger mindst muligt fra hinanden, se Figur 3. Ligeledes kan modellerede rejsetider sammenlignes med rejsetidsmålinger. Hvis rejsetidsmålingerne er opdelt i køretider og ventetider i kryds kan sammenligningen følge denne opdeling, idet modellen eksplicit modellerer forsinkelser i kryds.



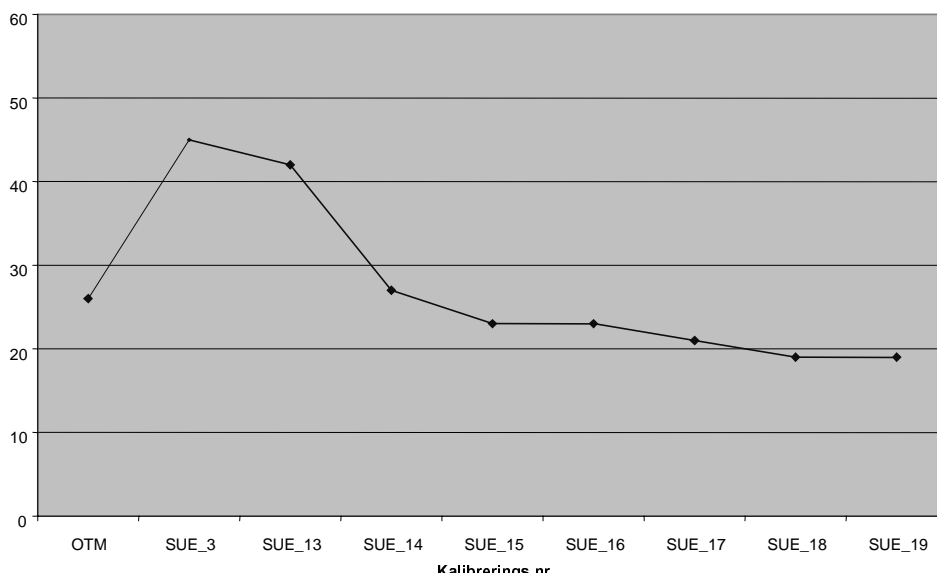
Figur 3. Scatter-diagram som viser tilpasningen mellem talt (x-akse) og modelleret trafik (y-akse)

Først blev de stokastiske faktorer og præferencevægtene fastlagt ved hjælp af en særskilt kalibrering, hvor hovedvægten blev lagt på at reproducere observerede turmønstre. Denne proces er beskrevet nedenfor.

Vejdirektoratets standardværdier af præferencevægte for hver klasse blev benyttet (svarende til enhedspriser for omkostning versus tid). Ved omregning til km blev kun benzinomkostningen taget i betragtning. Som et check heraf blev de sammenlignet med Vejdirektoratets (1990) undersøgelse af rutevalg til lufthavnen.

Vægtfordelingerne (variansen af hver vægt) samt stræknings stokastikker blev kalibreret ved at køre modellen med forskellige kombinationer heraf. Resultatet for hver kombination af parametre blev sammenlignet med trafiktællinger og med visse rutebundter som der var kendskab til via stop interviews.

Opdelingen af trafikken efter turformål og køretøjstyper gør det nødvendigt at udvide datagrundlaget. Derfor blev der indsamlet trafiktællinger, der var i overensstemmelse med modellens opdeling i tidsintervaller og køretøjsarter. Dvs. en opdeling i morgenmyldretid, eftermiddagsmyldretid og det øvrige døgn, samt en opdeling i køretøjsarterne personbil, varebil og lastbil. Der blev indsamlet trafiktællinger fra Vejdirektoratet, Københavns Kommune samt en række omegnskommuner. Der blev i alt indsamlet ca. 1.000 tællinger, hvilket kan sættes i forhold til at modellens vejnet indeholder ca. 3.000 strækninger.



Figur 4. Gennemsnitlige afvigelse mellem tællinger og modelleret trafik målt som spredning i procent af middeltællingen. Den første værdi viser tilpasningen i den tidligere anvendte vejvalgsmodel.

Ved hjælp af gentagne sammenligninger af de modellerede trafikmængder med de indsamlede trafiktællinger og efterfølgende justeringer af inddatagrundlaget blev opnået en gradvis reduktion af afvigelserne mellem de modellerede og observerede trafikmængder, se Figur 4-5. Systematikken i kalibreringsprocessen bestod i at identificere de største afvigelser og derefter lokalisere fejlen eller den nødvendige justering i inddatagrundlaget. Fejl i inddatagrundlaget

var normalt placeret geografisk tæt på den strækning hvor den store afvigelse befandt sig, men det var dog ikke altid tilfældet, hvilket til tider gjorde kalibreringsprocessen meget tidskrævende.

Justeringerne i datagrundlaget omfattede både data relateret til strækninger og kryds. I visse tilfælde var det hensigtsmæssigt at ændre i vejnettet ved f.eks. at flytte fiktive strækninger. I kalibreringsprocessen anvendtes oftest justeringer i hastigheder og kapaciteter for at opnå ændringer i rutevalget. Hvis eksempelvis trafikmængden på en strækning var overestimeret var det ofte rimeligt enten at sænke hastigheden eller kapaciteten. I byområder var det ofte meget små justeringer der skulle til for at ændre trafikmønstret til det ønskede niveau.

Periode: DØGN								
Begge retninger	Talt				Model			
	u2t	o2t	o35t	ktj	u2t	o2t	o35t	ktj
Amagermotorvejen	40309	6931	4685	51925	39429	5499	5200	50129
Knippelsbro	27782	3210	2913	33905	31414	2768	2866	37049
Langebro	48968	5643	5698	60309	48933	5420	6819	61171
Sjællandsbroen	25654	4177	5025	34856	27686	4468	4807	36961
Total	142713	19961	18321	180995	147462	18156	19692	185310

Figur 5. Sammenligning af talt og modelleret trafik for personbiler (u2t), varebiler(o2t) og lastbiler og busser(o35t) i snittet mellem sjælland og Amager (Havnesnittet).

Til kalibreringsprocessen er det uhyre nyttigt at have forskellige databaseprogrammer til rådighed. Det gælder specielt GIS, som gør det muligt at kombinere forespørgselsfaciliteter med gode visualiseringsmuligheder. Derudover bør processen understøttes af et interface der letter korrektionerne i datatabellerne og sikre integritet og konsistens i databasen. Det omfattende datagrundlag for krydsmodellerne blev således kvalitetssikret ved at visualisere de gennemsnitlige forsinkelser i krydsene og derefter identificere de største forsinkelser. Denne metode viste sig at være effektiv til bekæmpelse af fejl i denne del datagrundlaget.

Endelig blev det resterende modelleringskompleks revurderet på basis af udbudsvariablerne fra den nye vejvalgsmodel for flere trafikantklasser.

Det fulde modelleringskompleks bruger en såkaldt pivot-matrix metode, hvor pivot-matrixerne bruges til at korrigere resultatet af den hierarkiske logit-model.

4.2 Tests af konvergens

Der blev foretaget en række tests for at sandsynliggøre, at vejvalgsmodellen konvergerede. Konvergensadfærden var meget lig resultaterne fra vejvalgsmodellen for en enkelt trafikantklasse omtalt i Nielsen (1997b & 1998). De er derfor ikke beskrevet detaljeret her. Efter en grundig undersøgelse af forskellige typer konvergenskriterier blev det besluttet at køre modellen med 250 iterationer, hvilket med stor sikkerhed garanterede konvergens. Det fulde modelleringskompleks bruger 5 iterationer til at konvergere, men da vejvalgsmodellen køres med færre iterationer i de indledende etaper end den sidste, kan hele modellen køres på 24 timer.

4.3 Eksempler på resultater fra modellen

Det er vanskeligt at bruge den totale trafikmængde på alle veje til at vurdere modeladfærden, da dette er summen af mange bundter af veje, der forbinder mange zone-par. Således er en god tilpasning på strækningsniveau kun en nødvendig men ikke tilstrækkelig betingelse for en god model. Programmet har derfor en facilitet til at gemme træer, der udgår fra en zone, mellem zoner, bunker af ruter, der passerer en bestemt strækning eller en hvilken som helst kombination heraf. Herved er det muligt at undersøge rutevalgene mere detaljeret og således afsløre problemer, der ellers ville være blevet overset.

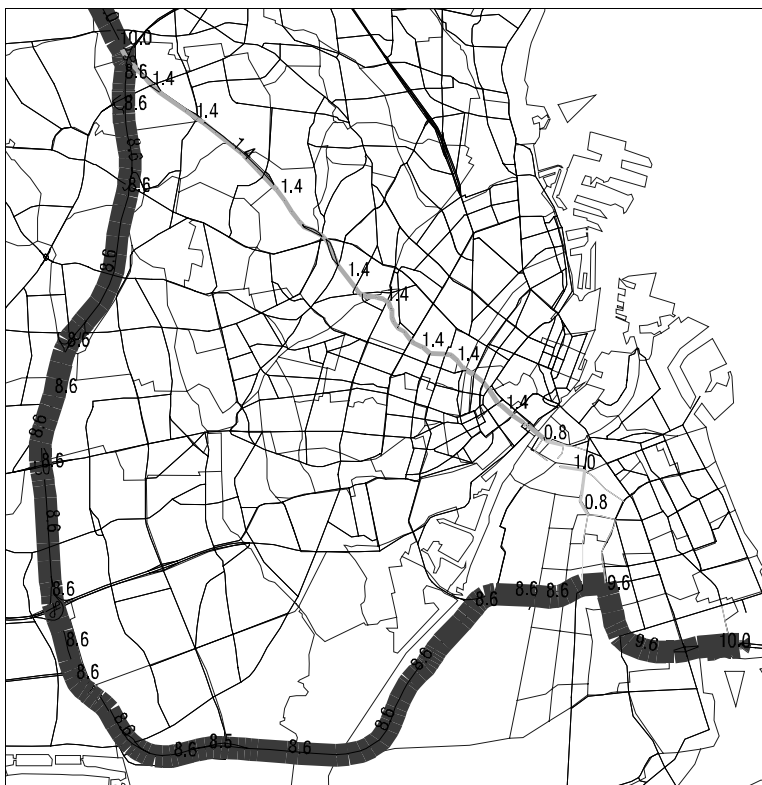


Figur 6. Andre personbil ture mellem Kastrup Lufthavn og Farum

I Ørestadsmodellen er specielt ruterne til og fra lufthavnen interessante (fig. 6-9), fordi de kan sammenholdes med (Vejdirektoratets, (1990) undersøgelse af rutevalg. Også ruterne fra Nordhavn til Sydmotorvejen er relevante (fig. 10-11) på grund af en vis erfaringsmæssig viden om lastbilchaufførers rutevalgsadfærd. Det er interessant at se, hvor forskellige rutevalgene var i de forskellige klasser (sammenlignet med en vejvalgsmodel for en enkelt klasse, der forudsætter samme adfærd for alle klasser). Fig. 12 og 13 viser eksempler på rutevalg for lastbiler i en tidligere udgave af modellen. Her blev der ikke taget hensyn til forskelle i forskellige vogntypers decelerationer og accelerationer i vejkryds. I dette tilfælde tildelte modellen for megen trafik i byerne og for lidt til motorvejsnettet (for de to viste bundter henholdsvis 2% og 64% trafik gennem byen). Da modellen blev ændret til at beskrive forskelle i vogndecelerationer og accelerationer (der tidligere blev forudsat at være en mindre detalje), ændredes tallene til 14% og 55%. Dette forbedrede modellen ret markant på et aggregeret niveau.



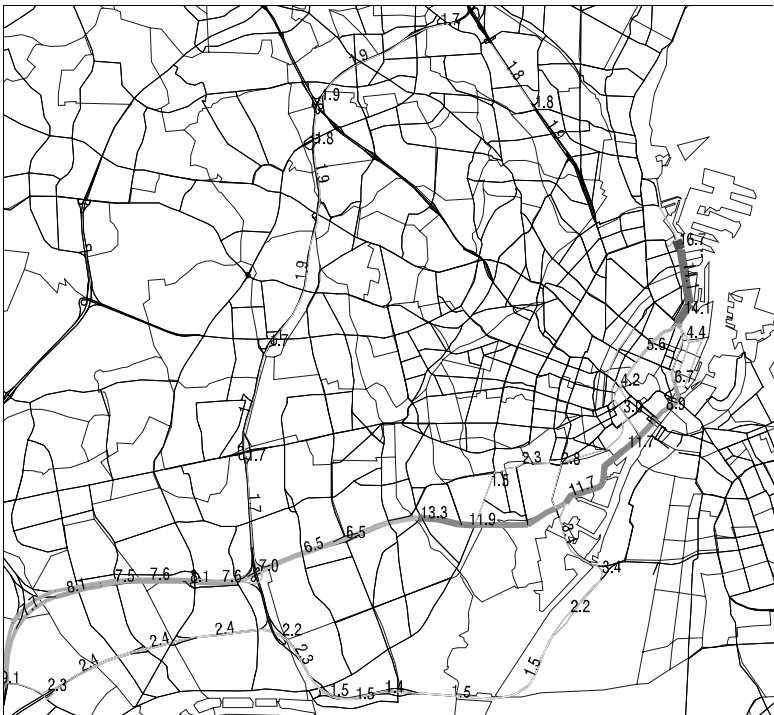
Figur 7. Bolig-arbejdsstedsrejser i morgenmyldretiden mellem Kbh. Lufthavn og Farum



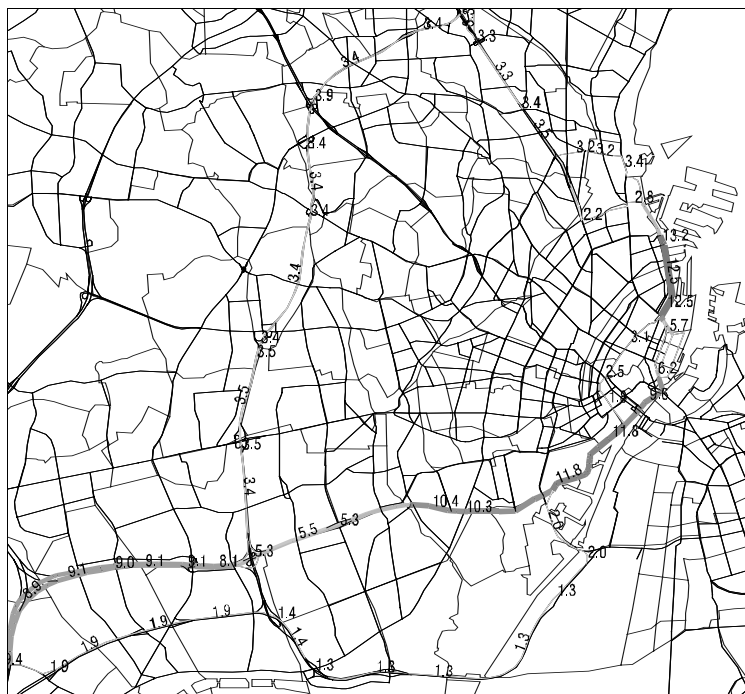
Figur 8. Varebiler i morgenmyldretiden mellem Kbh. Lufthavn og Farum



Figur 9. Lastbiler i morgenmyldretiden mellem Kbh. Lufthavn og Farum.



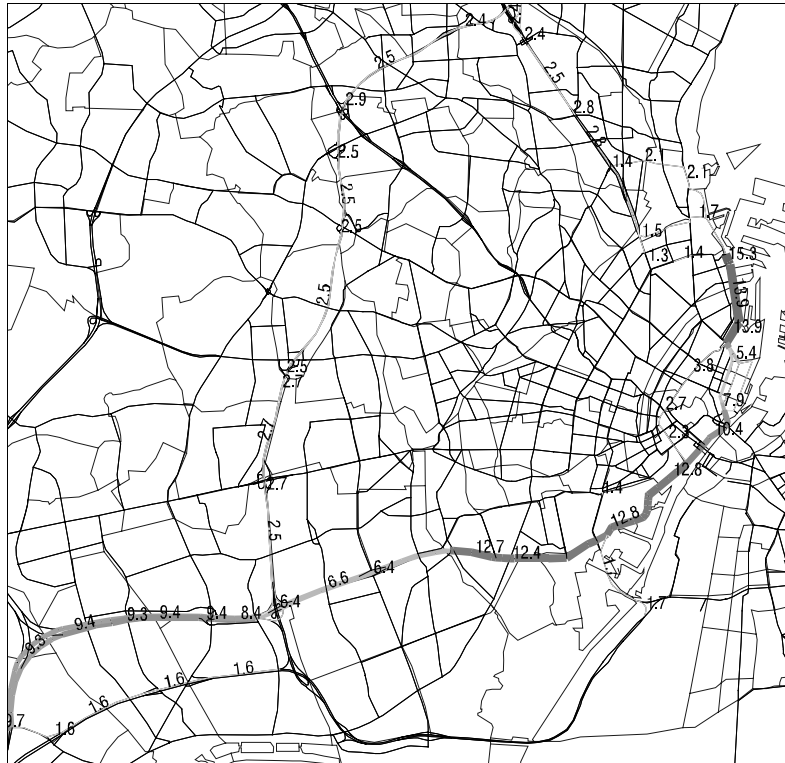
Figur 10. Bolig-arbejdsstedsrejser i morgenmyldretid mellem Nordhavn og Køge-motorvejen



Figur 11. Lastbiliture i morgenmyldretid mellem Nordhavn og Køge-motorvejen



Figur 12. Lastbil ture mellem Kbh. Lufthavn og Farum beregnet med tidligere anvendte model uden opdeling i trafikantklasser



Figur 13. Lastbil ture mellem Nordhavn og Køge-motorvejen beregnet med tidligere anvendte model uden opdeling i trafikantklasser

5 KONKLUSION

Artiklen har behandlet en omfattende undersøgelse af en stokastisk vejvalgsmodel for flere trafikantklasser for Hovedstadsområdet. Modellen er implementeret som en del af Ørestadens trafikmodel. Vejvalgsmodellen kan bestå af så mange trafikantklasser, man ønsker - i det foreliggende tilfælde fem klasser. Hver klasse har sine egne nyttefunktioner med egne parametre og fordelinger heraf.

Alle klasserne påvirker forholdet mellem hastighed og trafikmængder på en uhyre kompliceret måde. Vejkapaciteten afhænger af den modellerede lastbilsprocentdel (inkl. pre-load af busser). Forholdet mellem hastighed og trafikmængde i én retning af tosporede veje påvirkes af trafikken i modsat retning. Sving i kryds påvirkes af trafikken i andre sving. Dette er separat modelleret for forskellige vejkrystyper. Hastighederne på vejstrækninger og forsinkelser i vejkryds giver input til en geometrisk forsinkelsesmodel. Forskellige vogntyper (personbiler, varebiler og lastbiler) har forskellige accelerations- og decelerationsevner.

Hovedkonklusionen er, at vejvalgsmodellen for flere trafikantklasser har forbedret modelleringen af rejseadfærd sammenlignet med vejvalg for en enkelt trafikantklasse. Dette er eksemplificeret ved figurer, der viser de store forskelle på rutebundter for forskellige klasser (disse bundter ville per definition have været ens i en traditionel model). I Ørestadsmodellen betyder dette også, at modellen fik samme detaljeringsgrad som rutevalgsmodellen med hensyn til forskellige tur-formål, tid-på-dagen og vogntyper.

En række medarbejdere fra TetraPlan takkes for deres assistance, herunder Rasmus Dyhr Frederiksen for implementering af den nødvendige software, Jens Møller-Pedersen for indledende undersøgelser af vejkryds forsinkelses modellerne og Jan Holm for assistance med validering af modellen. Nikolaj Simonsen og Erik Rude Nielsen, DTU, takkes begge for assistance med at analysere og illustrere resultaterne. Transportrådet takkes for at finansiere den indledende forskning som er en del af arbejdet, medens Ørestadsselskabet takkes for at finansiere implementering og kalibrering af modellen.

REFERENCER

Akcelik (1996). Progression Factor for queue Length and Other Queue-Related Statistics. *Transportation Research Record 1555*. TRB, Washington.

Austrorads (1993). *Guide to traffic engineering practice*. Part 6, Roundabouts. Austrorads, Sidney, Australia.

Daganzo, C.F. & Sheffi, Y. (1977). On Stochastic Models of Traffic Assignment. *Transportation Science*. No. 11(3), pp. 253-274.

Dial, R.B. (1971). A probabilistic Multipath Traffic Assignment Algorithm which obviates Path Enumeration. *Transportation Research*. No. 5(2). pp. 81-111.

Frederiksen, Rasmus Dyhr & Simonsen, Nikolaj. *GIS-based SUE-assignment with turn-penalties*. M.Sc.-thesis (written in Danish). IFP, DTU. January 1997.

Harder (1976). *Grenz- und Folgezeitlücken als Grundlage für die Berechnung der Leistungsfähigkeit von Landstrassen*. Forschungsberichte, Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 216, Bohn – Bad-Godesberg.

Highway Capacity Manual (1985). Transportation Research Board, Special Report 209, Washington, DC.

Highway Capacity Manual (1994) Update. Transportation Research Board, Special Report 209, Washington, DC.

Horowitz, A.J. (1997). Intersection delay in Regionwide Traffic Assignment: Implications of the 1994 Update of the Highway Capacity Manual. *TRB-Annual meeting*, Washington, January. Pre-prints, Paper No.970463.

Nielsen, O.A. (1996a). Do Stochastic Traffic Assignment Models Consider Differences in Road Users Utility Functions? *24th European Transport Forum (PTRC Annual Meeting)*. Seminar M, Vol. II. Uxbridge, UK.

Nielsen, O.A. (1996b). Nye modeller for rutevalg. *Trafikdage på AUC'96*. Bind 1, s. 111-124.

Nielsen, O.A. (1997a). Multi-Path OD-Matrix Estimation (MPME) based on Stochastic User Equilibrium Traffic Assignment. *TRB-Annual meeting*, Washington, January. Pre-prints, Vol. III, 0234.

Nielsen, O.A. (1997b). On the distribution of the stochastic component in SUE traffic assignment models. *European Transport Forum (PTRC Annual meeting)*. Seminar F, Transportation Planning Methods, Vol. II, p.77-94. Uxbridge, U.K.

Nielsen, O.A. (1998a). A large-scale stochastic Multi-class Traffic Assignment Model for the Copenhagen Region. *TRInennal Symposium on Transportation Analyses*. Puerto Rico.

- Nielsen, O.A. (1998b). *Two new methods for estimating Trip Matrices from Traffic Counts*. To be published in a monograph with selected papers from Seventh International Conference on Travel Behaviour Research. Expected to be published by Elsevier, May 1998.
- Nielsen, O.A., Frederiksen, R. D. & Simonsen, N. (1997a & 1998). Using Expert system rules to establish data on intersections and turns in road networks. *Seventh international conference on Informations systems in logistic and transport*, Gothenburg, June. To appear in *International Transactions in Operational Research*.
- Nielsen, O.A., Frederiksen, R. D. & Simonsen, N. (1997b & 1998). Stochastic User Equilibrium Traffic Assignment with Turn-delays in Intersections. *Seventh international conference on information systems in logistic and transport*, Gothenburg, June. To appear in *International Transactions in Operational Research*.
- Nielsen, Otto Anker (IFP, DTU); Frederiksen, Rasmus Dyhr (Tetraplan ApS) & Simonsen, Nikolaj (IFP, DTU) (1997c). Et ekspertsystem til etablering af krydsdata. *Trafikdage på AUC'97. Supplementsrapport, s. 251-262*.
- Nielsen, Otto Anker (IFP;DTU); Frederiksen, Rasmus Dyhr (Tetraplan ApS) & Simonsen, Nikolaj (IFP, DTU) (1997d). SUE-rutevalgmodel med krydsmodellering. *Trafikdage på AUC'97. Supplementsrapport, s. 263-274*.
- Nielsen, O.A., Israelsen, T. & Nielsen, E. R. (1997e). GIS-based methods for establishing the datafoundation for traffic models. *17th Annual ESRI User Conference*. Proceedings and <http://www.esri.com/base/common/userconf/proc97/PROC97/ABSTRACT/A573.HTM>. San Diego, USA, July.
- Semmens, M.C. (1985a). *Arcady2: An enhanced program to model capacities, queues and delays at roundabouts*. Research Report 35, TRRL, England.
- Semmens, M.C. (1985b). *Picady2: An enhanced program to model capacities, queues and delays at major/minor priority junctions*. Research Report 36, TRRL, England.
- Sheffi, Yosef. (1985). *Urban Transportation Networks*. Prentice Hall, Inc, Englewood Cliffs, NJ.
- Vejdirektoratet (Road Directorate), Department of Economics and Statistics (1990). *The car-traffic towards the International Airport of Copenhagen - Analyse and evaluation of the impacts of the 'Tårnby motorway'*. (Written in Danish).