

# SUE - RUTEVALGSMODEL MED KRYDSMODELLERING

Otto Anker Nielsen  
Institut for Planlægning (IFP), Danmarks Tekniske Universitet (DTU)  
Bygning 115, 2800 Lyngby  
Tlf. 45 25 15 14; Fax 45 93 61 11; E-mail onielsen@ivtb.dtu.dk

Rasmus Dyhr Frederiksen  
TetraPlan Aps.  
Badstuestræde 8, 3., 1209 København K.  
Tlf. 33 11 40 44; Fax 33 11 40 54; E-mail rdf@tetraplan.dk

Nikolaj Simonsen  
Institut for Planlægning (IFP), Danmarks Tekniske Universitet (DTU)  
Bygning 115, 2800 Lyngby  
Tlf. 42 86 19 00; Fax 45 76 76 40; E-mail nsnyvig@ramboll.dk

## ABSTRACT

Forsinkelser i vejkryds bidrager betragteligt til rejsetider og har derfor betydning for rutevalget på vejnettet i byområder. Dette gælder især i områder med kapacitetsproblemer, men også i mindre belastede byområder. Imidlertid er svingbevægelser svære at håndtere i trafikmodeller fordi de enkelte svingbevægelser påvirker hinanden og omkostningsfunktionerne derved blive asymmetriske Heydecker, (1983). Artiklen beskriver en ny model for rutevalg og netudlægning, der er udviklet på IFP. Modellen inkluderer forsinkelser i vejkryds i løsningsalgoritmen for stokastisk bruger equilibrium modellen (SUE). SUE har som nævnt i Nielsen, (1996a) en række fordele, idet den kan håndtere delvist overlappende ruter på en konsistent måde (i modsætning til andre stokastiske rutevalgsmodeller). Samtidig med, at den tager hensyn til eventuelle kapacitetsproblemer. Derudover kan IFP's model også beskrive forskelle i trafikanters præferencer, f.eks. en kort rute versus en lang rute Nielsen, (1996b). Dette er af stor betydning, når trafikanters ruter skal beskrives i et byområde, og derved for konsekvensberegninger på strækningsniveau af forskellige planforslag. Krydsmodellen håndterer både geometriske forsinkelser (deceleration, sving og acceleration), og forsinkelser forårsaget af andre svingbevægelser (vigepligt samt venten i signalregulerede kryds). Den består af separate delmodeller for signalregulerede kryds og prioriterede kryds, ligesom der er opbygget en separat delmodel for rundkørsler. Hvis forsinkelserne i signalregulerede kryds overstiger én grønperiode benyttes en speciel modeltype. Krydsmodellen følger i vidt omfang vejreglerne Vejdirektoratet, (1983, 1985 og 1991) samt metoder gennemgået i Khisty, (1990) og Aagaard, (1995). Krydsmodellen er testet på et trafiknet for Hovedstadsområdet, hvor den sammenlignes med en tilsvarende model uden krydsmodellering. For at muliggøre de praktiske afprøvninger af modellen blev der opbygget et GIS-baseret ekspertsystem til krydsklassificering og en metode til at opbygge trafiknettopologien i modellen.(Se Nielsen et al. 1997 a & b).

## 1 INDLEDNING

Netudlægningsmodeller tager normalt ikke hensyn til krydsforsinkelser. De fleste netudlægningsalgoritmer er nemlig udledt på grundlag af en simplificeret antagelse om at omkostningsfunktionen er symmetrisk. Det skyldes de teoretiske vanskeligheder ved at anvende asymmetriske omkostningsfunktioner (Sheffi, 1985, p.335 og Heydecker, 1983). Mere detaljerede beregninger af krydsforsinkelser vil i de fleste tilfælde medføre at omkostningsfunktionerne bliver asymmetriske. Imidlertid afspejler de asymmetriske omkostningsfunktioner i høj grad sammenhænge som er observerbare i virkeligheden. I et vigepligtskryds vil forsinkelsen for vigepligtige trafikanter, eksempelvis afhænge stærkt af trafikken i de overordnede trafikstrømme. Det er derfor en afvejning af på den ene side den forbedrede detaljering i modelleringen og på den anden side de teoretiske ulemper ved at tage hensyn til krydsforsinkelser. Artiklen beskriver en heuristisk udvidelse af SUE modellen, som tager hensyn til krydsforsinkelser. Modellen er afprøvet med et datagrundlag, der dækker hele hovedstadsområdet. Eftersom intet formelt bevis for konvergens kan gives for den modificerede model er konvergensundersøgelsen udført ved brug af den afprøvede fuldskala model.

Afsnit 2 indeholder en oversigt over det teoretiske grundlag for SUE modellen uden krydsmodellering og en beskrivelse af den implementerede model med krydsmodellering. Afsnit 3 beskriver hovedprincipperne i de valgte krydsforsinkelsesmodeller. Der er anvendt forskellige krydsforsinkelsesmodeller for de forskellige reguleringsformer i vejnettet, hvilket omfatter separate modeller for vigepligtikryds og signalregulerede kryds. Endvidere er implementeret en model for geometriske forsinkelser, d.v.s. forsinkelser forårsaget af opbremsninger og acceleration før og efter et kryds. Afsnit 4-5 beskriver de praktiske erfaringer og anvendelsen af modellen i en fuld-skala trafikmodel. Afsnit 6 indeholder hovedkonklusionerne i artiklen.

## 2 SUE MODELLEN MED KRYDSMODELLERING

De tidlige logit-baserede assignment modeller (Dial, 1971) har den svaghed at forskellige rutevalg antages at være uafhængige af hinanden. Denne antagelse medfører vanskeligheder ved modellering af rutevalget i vejnet med overlappende ruter (se Sheffi, 1985, pp.294-297). I praksis har det vist sig at alternative rutevalg ofte vil have fælles strækninger på ruten. Daganzo & Sheffi (1977) foreslog derfor en probit baseret model, som ikke har denne svaghed. Forudsætningerne for denne model er at:

1. På ikke overlappende strækninger opleves rejsemodstanden uafhængigt.
2. Fordelingen af den oplevede rejsemodstand er den samme, hvis middelværdien af rejsemodstanden er den samme.
3. Den oplevede rejsemodstand,  $c_{(e)a}$ , er normalfordelt med en middelværdi som er lig med den deterministiske rejsemodstand og med en varians som er proportional med den deterministiske rejsemodstand:

$$c_{(e)a} \in \Phi(c_a, err \cdot c_a) \quad (1)$$

$\Phi$  symboliserer normal fordelingen,  $c_a$  er den deterministiske rejsemodstand og  $err$  er *error termen*.

Med ovenstående forudsætninger kan det vises, at sandsynligheden for at anvende en strækning

eller en rute kan beskrives med en multinomial normal fordeling, d.v.s. en probitmodel. Sheffi & Powell (1981) udledte en løsningsalgoritme med de nævnte forudsætninger. Et tilsvarende koncept er anvendt ved formuleringen af SUE, idet problemet her udvides med trafikafhængighed. Der er ligeledes for SUE modellen opstillet en løsningsalgoritme. For en nærmere beskrivelse heraf se Nielsen (1996a) og Nielsen (1997b). Det er denne algoritme, der er anvendt i rutevalgmodellen med krydsmodellering. SUE modellen har en række teoretiske og praktiske fordele i sammenligning med andre foreslåede assignment modeller, derfor kan det anbefales at altid anvende SUE, idet den både kan modellere rutevalget i stærkt trafikerede områder og samtidigt på en konsistent måde behandle det stokastiske element i rejseadfærden. Nielsen, (1996b).

### **2.1 Modifikation af modellen for at muliggøre krydsmodellering**

Heydecker (1983) formulerede to kriterier, der bør være opfyldt i enhver assignment model. Problemet bør have en unik løsning og den anvendte algoritme bør kunne vises, at konvergere mod denne løsning. Ved at introducere asymmetriske omkostningsfunktioner kan disse betingelser ikke garanteres at være opfyldt i det generelle tilfælde. (se Heydecker, 1983, for det ikke-stokastiske tilfælde og Watling, 1996, for stokastiske tilfælde). Det er imidlertid et åbent spørgsmål om der eksisterer virkelige vejnet, som vil give ustabile og/eller multiple løsninger. Der kan gives eksempler på netstrukturer, som resulterer i ustabile og/eller multiple løsninger, imidlertid er disse net konstrueret til netop at have disse egenskaber. Desuden adskiller de sig også fra de typiske net, der anvendes i praksis, ved kun at indeholde et eller ganske få zonepar. I større net vil ruter for forskellige zonepar normalt overlappe hinanden, hvilket gør løsningen mindre sårbar overfor evt. problemer mellem enkelte zonepar (Ibid).

I denne artikel undersøges det om en SUE model med krydsmodellering kan antages at have entydig løsning og hvorvidt denne model modellerer trafikken bedre end SUE modellen uden krydsmodellering. Den heuristiske udvidelse af SUE modellen er nærmere beskrevet i Nielsen et al. (1997).

### **2.2 Stopkriterie for algoritmen**

Løsningen til SUE problemet kan findes ved hjælp af algoritmen *Method of Successive Averages (MSA)*, Se Sheffi, (1985). Det er en numerisk løsningsalgoritme og det er derfor nødvendigt at opstille et stopkriterie. Der er i litteraturen foreslået to hovedtyper af stopkriterier (Se : Powell & Sheffi, 1982, Sheffi, 1985, pp. 327-331 og Van Vuren, 1994). 1) Sammenligning af trafik eller omkostninger for de to sidste iterationer. 2) Sammenligning med trafiktællinger eller målte rejsetider. En tilfredsstillende tilnærmelse til løsningen kan dog ikke garanteres alene på grundlag af disse stopkriterier. Det skyldes, at kvaliteten af den stokastiske simulation ikke er indeholdt i disse kriterier. Test udført med fuld-skala vejnet, Nielsen (1996a) har vist at det er nødvendigt at anvende op til 1000 skridt i beregningerne for at sikre konvergens. For at forbedre konvergensthastigheden og den stokastiske simulation har Nielsen (1996b) foreslået en ændret algoritme som forøger antallet af simulationer i hver iteration. Dermed kan beregningstiden reduceres med op til 40 %.

### 3 FORSINKELSESMODELLER FOR STRÆKNINGER OG KRYDS

Den nye rutevalgsmode kan modellere forsinkelser, der afhænger af reguleringsformen, herunder forsinkelser som skyldes vigepligtskonflikter. Endvidere kan den tage hensyn til geometriske forsinkelser, d.v.s. forsinkelser som skyldes deceleration inden krydset og acceleration efter krydset.

Forøgelsen af detaljeringsgraden i modelleringen kan anskueliggøres ved at sammenligne modellen med og uden krydsmodellering. I modellen uden krydsmodellering er det udelukkende rejsetiden på strækninger, som modelleres. Det gøres normalt ved hjælp af en cost-flow kurve, der har den egenskab at stigende trafik medfører en faldende middelhastighed. Denne sammenhæng kan udtrykkes således:

$$\text{Rejsetid} = \text{Fri rejsetid} + \text{Interaktionsforsinkelse}$$

Denne relation giver muligvis en rimelig dækkende beskrivelse af trafikken på strækninger, men beskriver ikke forsinkelserne i kryds. Modellerne, som beskriver forsinkelserne i kryds er væsentlig mere komplekse end relationen ovenfor. Følgende sammenhænge bliver modelleret i vigepligtskryds:

$$\text{Rejsetid} = \text{decelerations forsinkelse} + \text{køforsinkelse} + \text{vigepligtsforsinkelse} + \text{accelerationsforsinkelse}$$

Og følgende sammenhænge modelleres i signalregulerede kryds :

$$\text{Rejsetid} = \text{decelerations forsinkelse} + \text{ventetid på grønt lys} + \text{køforsinkelse} + \text{vigepligtsforsinkelse} + \text{accelerations forsinkelse}$$

Problemet med mange krydsmodeller er, at de ikke opfylder de betingelser, som gør det muligt at anvende dem i netudlægningsmodeller. Det skyldes bl.a. at mange krydsforsinkelsesmodeller er asymptotiske funktioner, der går mod uendeligt når trafikken nærmer sig kapacitetsgrænsen.

#### 3.1 Prioriterede kryds og rundkørsler

Den implementerede model for forsinkelser i prioriterede kryds og rundkørsler består af to trin. I det første trin beregnes den teoretiske kapacitet for svingbevægelserne ud fra trafikken i krydset. Denne kapacitetsberegningmetode er udviklet af Harder (1976) og er en simpel tidsgap model. I det andet trin anvendes en kømodel til beregning af forsinkelserne. Modellen er identisk med den model som anvendes til beregning af kapacitet og serviceniveau i Vejdirektoratet (1983). Kømodellen er en asymptotisk funktion kan derfor ikke anvendes når trafikken nærmer sig kapacitetsgrænsen. Derfor anvendes en anden forsinkelsesmodel i overbelastningssituationen Austroads, (1993).

#### 3.2 Signalregulerede kryds

Den implementerede forsinkelsesmodel for signalregulerede kryds (Akcelik, 1996) er en generel model, som kan beregne forsinkelserne indefor alle intervaller af trafikken. Akcelik's model er en udvikling af den såkaldte progressions faktor metode, som kan beregne kølængde, køafviklingstid mm. Metoden indebærer at det er muligt at beregne effekterne af f.eks. bundet afvikling og signalkoordinering. I den implementerede udgave af modellen er beregningen af forsinkelsen ved venstresving modificeret (Se Nielsen et.al. 1997c).

### 3.3 Geometriske forsinkelser

Den geometriske forsinkelsesmodel er udviklet af Semmens (1985 a & b), men er anvendt i en modificeret form, Aagaard (1995). Den geometriske forsinkelse afhænger af reguleringsform og svingretning. Modellen anvender køteori til at beregne sandsynligheden for fuldt stop, delvist stop og intet stop for hver svingbevægelse. Udfra denne sandsynlighed beregnes en gennemsnitlig forsinkelse. Den geometriske forsinkelse bliver endvidere beregnet udfra den trafikafhængige hastighed i tilfarten og i frafarten. Dermed introduceres en sammenhæng mellem rejsetiden på strækninger og i kryds.

#### Speed-flow kurve og rejsemodstanden på strækninger

Rejsemodstanden på strækninger beregnes ved en sammenvægtning af tid og længde:

$$c_a = k_{(l)} \cdot l_a + k_{(t)} \cdot t_a, \quad (1)$$

$l_a$  er vejlængde og  $t_a$  er rejsetid.  $k_{(l)}$  og  $k_{(t)}$  er vægte.

Til beregning af rejsetiden anvendes BPR-formlen, se Nielsen (1996b):

$$c_a = k_{(l)} \cdot l_a + k_{(t)} \cdot t_{(0)a} \cdot \left( 1 + a \cdot \left( \frac{T_a}{T_{(cap)a}} \right)^b \right), \quad (2)$$

$T_a$  er trafikken på strækning  $a$ ,  $T_{(cap)a}$  er praktisk kapacitet,  $t_{(0)a}$  er den frie rejsetid (uden trafik).  $a$  og  $b$  er parametre.

I mange modeller anvendes samme værdier af  $a$  og  $b$  for alle strækninger. Undersøgelser af speed-flow sammenhængen har imidlertid vist, at forskellige vejtyper udviser forskellige karakteristikker. Dette kan der tages højde for ved at anvende vejtype-specifikke værdier af  $a$  og  $b$  ( $a_a$  og  $b_a$ ). Eksempelvis falder middelhastigheden hurtigere med en øget trafikbelastning på en to-sporet vej end på en motorvej. Ved at anvende følgende vejtype specifikke værdier af  $a_a$  og  $b_a$  opnås en bedre beskrivelse af speed-flow sammenhængen. Motorvej (0.35;2), Veje i åbent land (0.6;1.8), To-sporet vej i åbent land (0.8;1.5), Trafikvej (1.1; 1.5) og mindre veje (1.2; 1.3). Endelig kan køforsinkelse modelleres ved at anvende en konstant lav hastighed, når trafikken overstiger kapacitetsgrænsen. På en to-sporet vej har trafikken i den ene retning betydning for middelhastigheden i anden retning. Dette kan der tages hensyn til ved introducere yderligere en parameter  $\gamma$ , som foreslået af Horowitz (1997):

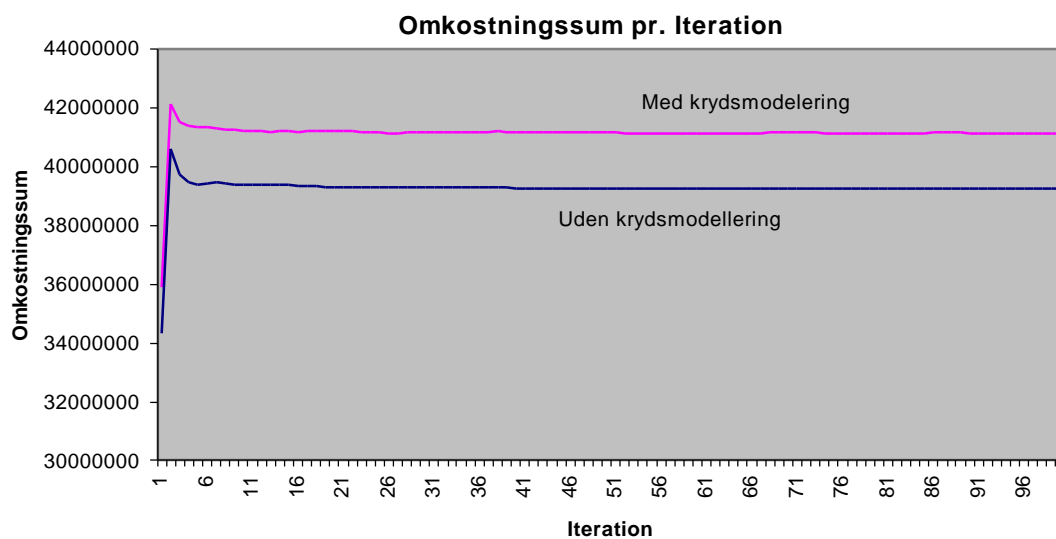
$$c_a = k_{(l)} \cdot l_a + k_{(t)} \cdot t_{(0)a} \cdot \left( 1 + a \cdot \left( \frac{T_{a(\text{forward})} + \gamma T_{a(\text{backward})}}{T_{(cap)a}} \right)^b \right), \quad (3)$$

## 4 PRAKTISKE ERFARINGER

Dette afsnit beskriver de praktiske erfaringer med modellen. Modellen blev afprøvet på et fuldskala vejnet for hovedstadsområdet, der omfatter 2.369 knuder, 6.108 strækninger og 19.111 svingbevægelser. OD-matricen indeholder 296x296 elementer. Modellen blev afprøvet ved at sammenligne resultaterne med rejsevaneundersøgelser (Vejdirektoratet, 1990) og trafiktællinger. Tilsvarende undersøgelser blev udført for modellen uden krydsmodellering. Endvidere blev udført flere forskellige konvergensundersøgelser. Eftersom afprøvningerne har været meget omfattende bliver kun et mindre uddrag beskrevet i artiklen.

### 4.1 Konvergensundersøgelse

På grund af den heuristiske og direkte løsningsmetode, som blev anvendt ved implementeringen af modellen er det ikke muligt at opstille et formelt bevis for, at modellen konvergerer mod en entydig løsning. Modellen uden krydsmodellering vil beviseligt altid konvergerer mod en løsning (SUE). Princippet i konvergensundersøgelsen har derfor været, at sammenligne resultaterne for modellerne med og uden krydsmodellering. Såfremt de to modeller giver ensartede resultater er det sandsynliggjort, at modellen med krydsmodellering konvergerer mod en løsning. Hertil blev anvendt forskellige undersøgelser. Disse undersøgelser afslørede ikke væsentlige forskelle mellem de to modeller. I Figur 2 er vist, som et eksempel, en sammenligning af den samlede omkostningssum for de to modeller. Ikke overraskende er omkostningssummen størst for modellen med krydsmodellering, men forløbet er ens for de to kurver.



Figur 2: Samlet omkostningssum med og uden krydsmodellering

### 4.2 Sammenligninger af rutevalg

Det er vanskeligt at bedømme den totale trafik udlagt på nettet, idet den består af mange alternative ruter for hvert zonepar. Med over 80.000 zonerelationer bliver antallet af ruter modelleret meget stort. I det afprøvede net kan der således være op til 1000 alternative ruter mellem et zonepar. Rutevalget må derfor analyseres på baggrund af mindre udsnit af

zonerationer. Til dette formål er programmet forsynet med en facilitet som muliggør analyser af trafikken mellem enkelte zonepar. F.eks. kan rutevalget mellem enkelte zoner trækkes ud og sammenlignes med observationer. Dette er udnyttet ved afprøvningen af modellen for trafikken fra Sjælland til Lufthavnen, der har været genstand for en omfattende rejsevaneundersøgelse (Vejdirektoratet, 1990) og derfor kunne anvendes som sammenligningsgrundlag for den modellerede trafik.

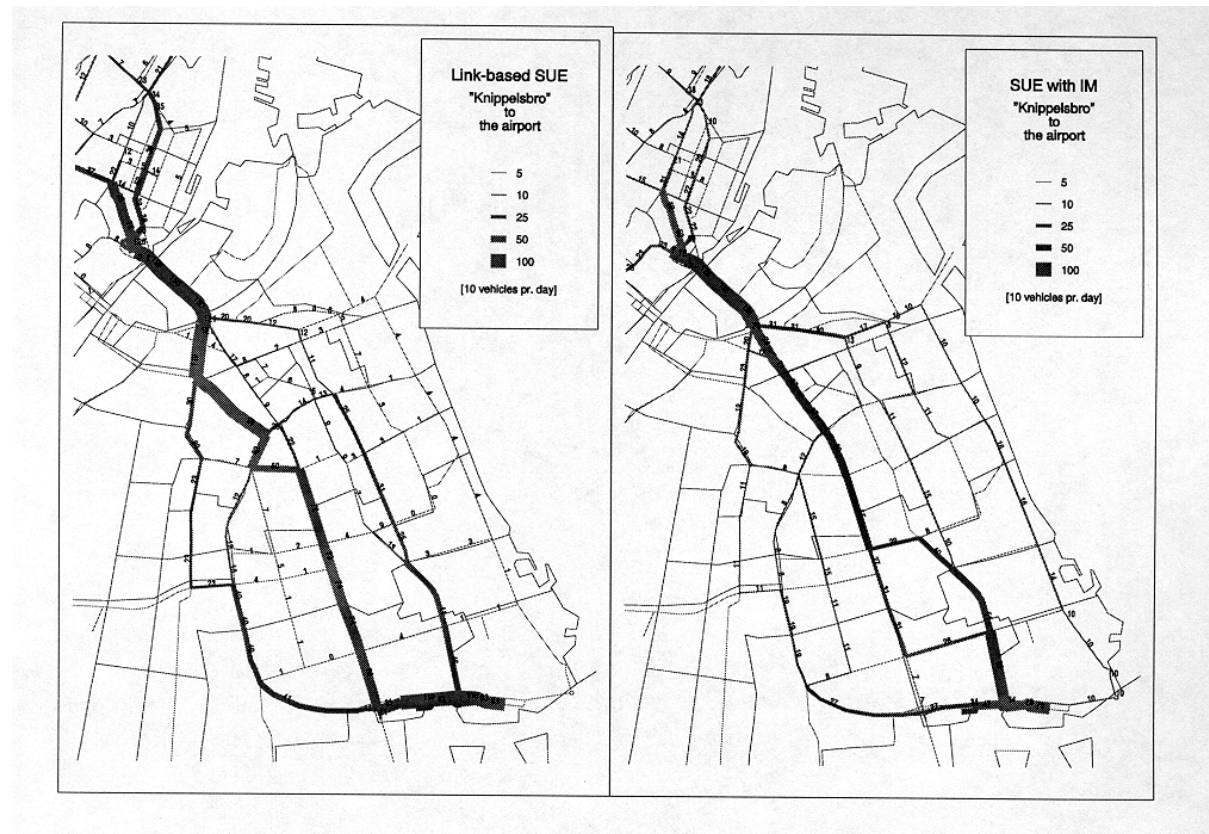


Figure 4: Modelleret trafik uden (til venstre) og med krydsmodellering (til højre).

I Figur 4 er vist ruter som passerer Knippelsbro fra Sjælland til Lufthavnen. Rutevalget er modelleret med og uden krydsmodellering. Generelt kan det konstateres, at rutevalget i modellen med krydsmodellering er det mest realistiske i sammenligning med observationsmaterialet. Som eksempel er rutevalget på den nordlige del af Amager ikke realistisk i modellen uden krydsmodellering, idet de valgte ruter passerer flere mindre gader, der normalt ikke betjener gennemkørende trafik. Ligeledes bliver trafikken ad Amager Strandvej kraftigt underestimeret i modellen uden krydsmodellen. Den bliver dog også underestimeret i modellen med krydsmodellering, men i et mindre omfang. Forskellen i den estimerede trafik, som benytter Amager Strandvej kan forklares ved, at ruten er længere end de fleste af de øvrige ruter, men tilgængelig passerer langt færre signalregulerede kryds. Tabel 1 and 2 viser resultaterne fra de to modeller i sammenligning med observationerne. Observationerne som er vist dækker to snit på Amager, hvilket gør det muligt at sammenligne trafikens fordeling i snittene med de modellerede trafikmængder. Som det ses er modellen med krydsmodellering tættere på observationsmaterialet end modellen uden krydsmodellering.

Snit 1	SUE uden krydsmodellering (%)	SUE med krydsmodellering (%)	Observeret Trafik (%)
Amager Fælledvej	76	19	7
Amager Brogade	11	56	36
Østrigsgade	8	10	31
Amager Strandvej	2	8	21
Øvrige	3	7	5

*Tabel 1: Trafikkens fordeling fra Knippelsbro til Lufthavnen i procent af samlet trafik-Snit 1.*

Snit 2	SUE uden krydsmodellering (%)	SUE med krydsmodellering (%)	Observeret Trafik (%)
Englandsvej/ Lufthavnsvej	26	21	5
Amager Landevej	44	6	15
Kastrupvej	29	65	56
Amager Strandvej	0	8	23
Øvrige	0	0	0

*Tabel 2: Trafikkens fordeling fra Knippelsbro til Lufthavnen i procent af samlet trafik-Snit 2*

Modellen med krydsmodellering muliggør i højere grad end modellen uden krydsmodellering kalibrering til et observationsmateriale, hvilket dog samtidigt gør kalibreringsprocessen mere kompleks. Blandt andet er det muligt, at modellere forskellige præferencer for ventetid og køretid. Nielsen, (1997b). Konklusionen på afprøvningen er, at modellen med krydsmodellering i de fleste tilfælde kan modellere trafikken bedre end modellen uden krydsmodellering.

## **5 PRAKTISK ANVENDELSE AF MODELLEN**

I det følgende omtales kortfattet en række forhold omkring den praktiske anvendelse af modellen med krydsmodellering.

### **5.1 Datagrundlag for modellen**

Modellen med krydsmodellering stiller langt større krav til datagrundlaget end modellen uden krydsmodellering både med hensyn til omfang og detaljering. Datagrundlaget for krydsene omfatter langt flere parametre og variable end datagrundlaget for strækninger. Imidlertid har IFP og Tetraplan udviklet en metode til opstilling af datagrundlaget for kryds på basis af datagrundlaget for vejnettets strækninger (Se Nielsen et.al. 1997 a & b). Ved at introducere krydsmodellering i en eksisterende model er det dog sandsynligvis nødvendigt at opdatere hastigheder og kapaciteter i dele af vejnettet, idet disse parametre ofte er anvendt til kalibrering af den eksisterende model.

### **5.2 Anvendelse i en større trafikmodel**



I iterative trafikmodeller, som indeholder estimering af turproduktion, turfordeling og transportmiddelvalg har de beregnede rejsemodstande indflydelse på resultaterne. Dette bevirker at ændringer i rutevalgmodellen vil påvirke resultaterne i de øvrige trin i modellen. Dette kan medføre at det kan være nødvendigt at re-estimere / re-kalibrere hele trafikmodellen. Dette er naturligvis særligt påkrævet, hvis en anden rutevalgmodel er anvendt til estimation af turfordelingen (se f.eks. Nielsen, 1997a).

### **5.3 Anvendelse til prognoser**

Anvendelse i en prognosemodel med et relativt langt tidsperspektiv kan medføre, at trafikmønstret og trafikens størrelse ændres i et sådant omfang, at det kan være nødvendigt, at ændre dele af datagrundlaget for krydsmodellerne. F.eks kan det være, at nogle prioriterede kryds i nutidssituationen, som følge af en trafikstigning, er blevet signalregulerede i prognosesituationen. Dette datagrundlag kan også opstilles ved anvendelse af den automatiske dataopstillingsmetode (Se Nielsen et.al. 1997 a & b).

## **6 DISKUSSION OG KONKLUSION**

I denne artikel er beskrevet en SUE rutevalgmodel med krydsmodellering, som er i stand til at modellere forsinkelser i signalregulerede kryds og vigepligskryds. Krydsmodelleringen omfatter eksplicit beregning af de væsentligste bidrag til forsinkelserne, hvilket bl.a. omfatter køforsinkelser, vigepligtsforsinkelser og geometriske forsinkelser.

Som påpeget af Heydecker (1983) bliver trafikplanlæggeren, som ønsker at estimerer den fremtidige trafik konfronteret med et vanskeligt dilemma: 1) Der kan anvendes en model, som ikke beskriver de væsentlige bidrag til rejsetiden, som skyldes vejkryds. 2) Der kan anvendes en model med detaljeret modellering af krydsforsinkelser, men med en risiko for, at modellen ikke konvergerer mod en entydig løsning eller at løsningen kun repræsenterer en af flere løsninger. Som de praktiske erfaringer viste afviger resultaterne for modellen uden krydsmodellering i visse tilfælde systematisk fra sammenlignende ruteobservationer. Et typisk eksempel herpå er to alternative ruter, hvor den ene er længere end den anden, hvor den korteste rute passerer mange kryds, mens den længste passerer færre kryds. I denne sammenhæng er det også værd at bemærke, at trafikanterne, i.flg. undersøgelser, (Se Bovy & Stern, 1990), ofte vælger at anvende simple ruter med en overvægt af ligeudkørsel. En sådan adfærd kan i en vis udstrækning modelleres med en model med krydsmodellering, ved at anvende forskellige vægte for de forskellige svingbevægelser.

For at undersøge om den implementerede model med krydsmodellering konvergerede mod en entydig løsning blev modellen underkastet forskellige test på et fuldskala vejnet for hovedstadssområdet. Heraf kunne det konstateres, at modellen konvergerede mod en løsning og at denne løsning sandsynligvis er unik. Endvidere gav modellen bedre resultater end modellen uden krydsmodellering, når den modellerede trafik blev sammenlignet med trafiktællinger og rejsevaneundersøgelser. Derfor anbefales det at anvende modellen med krydsmodellering, fremfor modellen uden krydsmodellering. Det vil særligt være tilfældet i områder med mange kryds og store trafikmængder. Den heuristiske metode, som er anvendt medfører imidlertid, at modellen altid bør afprøves m.h.t. konvergens inden evt. praktisk anvendelse.

**Tak til:** Jens Møller-Pedersen, TetraPlan, Thomas Israelsen, IFP og Erik Rude Nielsen, IFP. Transportrådet takkes for finansiering af dette forskningsprojekt.

## REFERENCER

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

Allsop, R.G. (1974). Some Possibilities for Using Traffic Control to Influence Trip Distribution and Route Choice. *Sixth International Symposium on Transportation and Traffic Theory*. Pp. 345-374.

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

Bovy, P.H.L. & Stern, E (1990). *Route Choice: Wayfinding in Transport Networks*. Kluwer Academic Publishers, Studies in Operational Regional Science, Vol. 9.

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.

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

Heydecker, B.G. (1983) Some consequences of Detailed Junction Modelling in Road Traffic Assignment. *Transportation Science*. Vol. 17, No.3.

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.

Khisty, C.Jotib. *Transportation Engineering - An introduction*. N.Y. Prentice Hall, 1990.

Nielsen, O.A. (1994a). A new method for estimating trip matrices from traffic counts. *Seventh International Conference on Travel Behaviour Research*, Chile. Pre-prints, pp.2-14.

Nielsen, O. A. (1994b). *Optimal use of traffic models - An analysis of traffic models with focus on data economy and validity*. Ph.D. Dissertation (written in Danish). Report No. 76, IVTB, DTU.

Nielsen, Otto Anker (1996a). *Nye modeller for rutevalg*. Artikel til Trafikdage på AUC'96.

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

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. Paper, to be presented at *European Transport Forum (PTRC annual meeting)*, London, September.

Nielsen, O.A., Frederiksen, R.D. & Simonsen, N. (1997a). Using Expert system rules to establish data on intersections and turns in road networks. Paper, at *Seventh international conference on informations systems in logistic and transport*, Gothenburg, June.

Nielsen, O.A., Frederiksen, R.D. & Simonsen, N. (1997b). Et ekspertsystem til etablering af krydsdata. Artikel til Trafikdage på AUC'97.

- Nielsen, O.A., Frederiksen, R.D. & Simonsen, N. (1997c). Stochastic user equilibrium traffic assignment with turn delays in intersections. Paper, at *Seventh international conference on information systems in logistic and transport*, Göteborg, June.
- Powell, W.B. & Sheffi, Y. (1982). The Convergence of Equilibrium Algorithms with Predetermined Step Sizes. *Transportation Science*. No. 16(1), pp. 45-55.
- 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.
- Sheffi, Y. & Powell, W.B. (1981). A comparison of Stochastic and Deterministic Traffic Assignment over Congested Networks. *Transportation Research B*. No. 15(1), pp. 53-64.
- Sheffi, Y. & Powell, W.B. (1982). An Algorithm, for the Equilibrium Assignment Problem with Random Link Times. *Networks* 12(2), pp.191-207.
- Van Vuren, T. (1994). The trouble with SUE stochastic assignment options in practice. *Proceedings PTRC Summer Annual Meeting*. University of Warwick, England, Seminar H. pp.41-52.
- Vejdirektoratet, Vejregeludvalget. *Vejregler for vejkryds i åbent land*. 1983.
- Vejdirektoratet, Vejregeludvalget. *Vejregler for signalanlæg*. 1985.
- Vejdirektoratet *Biltrafikken mod Københavns Lufthavn i Kastrup*. Økonomisk-Statistisk Afdeling, 1990.
- Vejdirektoratet, Vejregeludvalget. *Byernes trafikarealer*. 1991.
- Watling, David (1996). Asymmetric Problems and Stochastic Process Models of Traffic Assignment. *Transportation Research B*. Vol.30, No. 5, pp.339-357.
- Aagaard, P.E. *Metoder til valg af reguleringsform for vejkryds*. Ph.D.-afhandling. Report 77, IFP, DTU. March 1995.