

# ET EKSPERTSYSTEM TIL ETABLERING AF KRYDSDATA

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 onielson@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. 45 25 15 14; Fax 45 93 61 11; E-mail nikolaj@ivtb.dtu.dk

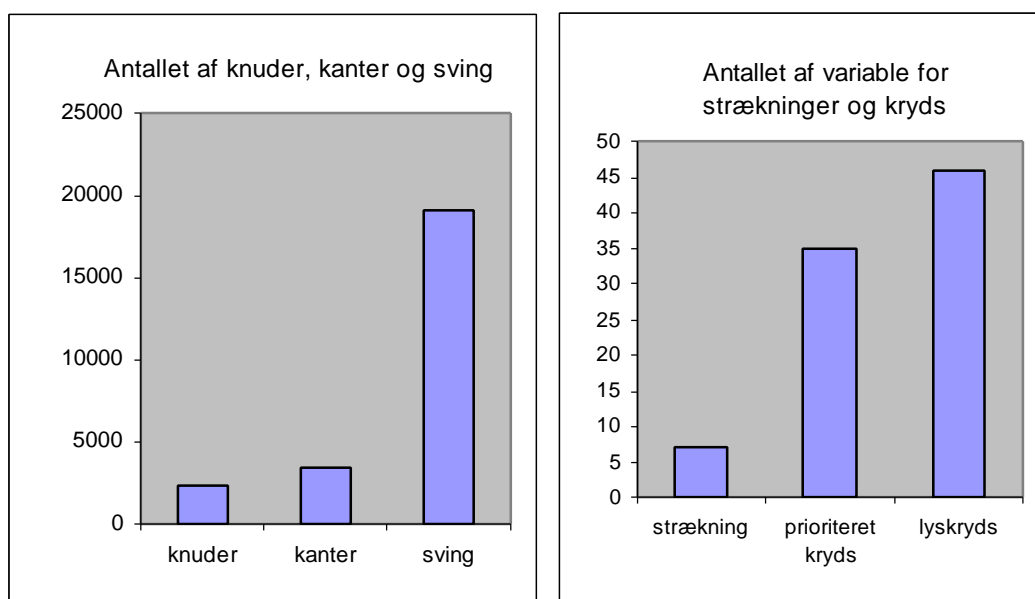
## ABSTRACT

Dette foredrag præsenterer en metode, som kan anvendes til at opstille det nødvendige datagrundlag for en rutevalgsmodel, der tager hensyn til forsinkelser i kryds. Desuden beskrives det, hvorledes kryds kan repræsenteres på en hensigtsmæssig måde i en rutevalgsmodel. Krydsforsinkelser kan udgøre en væsentlig del af rejsetiden i byområder og har derfor betydning for trafikanternes rutevalg. Det er derfor ønskeligt at kunne medtage krydsforsinkelserne i beregningen af rejsetiden i rutevalgsmodellen. For at kunne medtage krydsforsinkelserne er det naturligvis nødvendigt at have en rutevalgsmodel, der kan modellere trafikafviklingen i kryds (Se Fredriksen & Simonsen 1996 og Nielsen et al. 1997 a & b), men derudover forudsætter den praktiske anvendelse, at der etableres et datagrundlag for de anvendte krydsforsinkelsesmodeller. Efter som det nødvendige datagrundlag bliver meget omfattende ved modellering af større vejnet bliver arbejdsbyrden med at tilføje modellen disse oplysninger meget stor, medmindre inddateringsprocessen helt eller delvis automatiseres. Artiklen præsenterer en fremgangsmåde der på basis af de fleste trafikmodellers beskrivelse af vejnet er i stand til at give et rimeligt estimat for data om vejknudepunkter og svingbevægelser. For at kunne gøre dette er der opbygget en række regler i et 'ekspertsystem', der ud fra strækningers attributdata og geometri (linieføring) kan klassificere vejknudepunkter i en række grupper og opstille datagrundlaget for forsinkelsesmodellerne. Det drejer sig om prioriterede F- og T-kryds, signalregulerede kryds og kilestrækninger. Systemet er implementeret i forbindelse med GIS-pakken Arc/Info suppleret med et C-program og er testet på et trafiknet for Hovedstadsområdet. Afprøvningen viste at metoden er i stand til, med en rimelig nøjagtighed, at frembringe det ønskede datagrundlag. Alt-i-alt var systemet i stand til drastisk at reducere arbejdsindsatsen ved opbygning af det nødvendige datagrundlag for at kunne håndtere vejknudepunkter i trafikmodeller. Selvom det opbyggede vejnet ikke var perfekt, gav det et langt bedre grundlag for trafikmodeller end hvis der af ressourcemæssige årsager ses bort fra forsinkelser i vej-kryds og andre knudepunkter.

## 1 INDLEDNING

Det nødvendige datagrundlag for en rutevalgmodel med krydsforsinkelser er væsentligt mere omfattende end det tilsvarende datagrundlag for en rutevalgmodel uden krydsmodellering. Der er to årsager til at det forholder sig sådan (se også Fig. 1):

- 1) Antallet af kanter, som repræsenterer svingbevægelser er typisk betydelig større end antallet af konventionelle kanter, der repræsenterer strækninger og zoneophæng.
- 2) Krydsforsinkelsesmodellerne er i sammenligning med forsinkelsesmodeller for strækninger væsentlig mere komplekse og for at kunne udføre beregningerne må et stort antal variable være bestemt på forhånd.



*Figur 1: Datamængderne og antallet af variable forøges væsentligt, når krydsmodellering anvendes i rutevalgmodellen. Eksemplet til venstre viser væksten i datamængderne, når krydsforsinkelser medtages i Hovedstadsmodellen.*

For at imødegå denne voldsomme forøgelse i datamængderne har IFP og Tetraplan derfor udviklet en metode (et ekspertsystem), der er i stand til at opstille datagrundlaget for krydsmodellerne på grundlag af en eksisterende vejnetdatabase i GIS programmet Arc/Info. Metoden blev udviklet sideløbende med udviklingen af en rutevalgmodel, som tager hensyn til krydsforsinkelser. Den primære hensigt med dette udviklingsarbejde har været at gøre det muligt at anvende den forbedrede rutevalgmodel med krydsmodellering i en eksisterende trafikmodel for hovedstadsområdet. Eftersom datagrundlaget for krydsmodellerne ikke var til rådighed måtte dataopstillingen tage udgangspunkt i det eksisterende datagrundlag for trafikmodellen. Dette datagrundlag omfatter bla. den nævnte vejnetdatabase. Rutevalgmodellen og dataopstillingsmetoden har dog generel anvendelighed og vil kunne anvendes i sammenhæng med de fleste eksisterende trafikmodeller. Princippet i dataopstillingsmetoden er, at de strækningsrelaterede oplysninger og den geografiske information i vejnetdatabasen

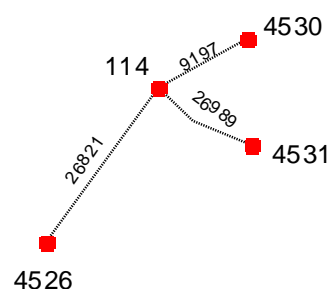
fortolkes og anvendes til opstilling af datagrundlaget for krydsmodellerne. Metoden er implementeret ved brug af GIS programmet Arc/Info og i programmeringssproget C. Datagrundlaget for krydsmodellerne består af en identifikation af krydset og af de enkelte svingbevægelser samt af oplysninger om bl.a. prioritering og reguleringsform. Dette er nærmere beskrevet i afsnit 2, mens afsnit 3 beskriver de overordnede principper og funktioner i metoden. Afsnit 4 beskriver de praktiske erfaringer med anvendelsen af metoden i en trafikmodel for hovedstadsområdet. Afsnit 5 omhandler hvordan kryds kan repræsenteres i et model netværk, mens afsnit 6 indeholder artiklens konklusion.

## 2 Vejnetdatabasen

Dette afsnit beskriver vejnetdatabasen, der udgør datagrundlaget for metoden.

Geographic table:

Link ID	Coordinates
26821	(11765120, 55227512) ... (11763424, 55226216)
26989	(11765120, 55227512) ... (11763424, 55226396)
9197	(11765120, 55227512) ... (11766396, 55226992)



Network table:

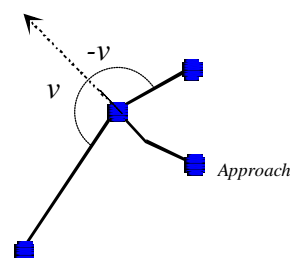
Link ID	Node ID1	Node ID2
26821	114	4526
26989	114	4531
9197	114	4530

Link attribute table:

Link ID	Direction	Class	Num. of lanes	Capacity	Speed	Traffic
9197	0	4	2	2300	45	10224
26821	0	4	2	2300	55	5813
26989	-1	3	2	1000	20	954

Turn table:

Node ID	Link ID1	Link ID2	Angle
114	9197	26821	0.857
114	9197	26989	91.984
114	26821	9197	-0.857
114	26821	26989	-87.158
114	26989	9197	-91.984
114	26989	26821	87.158



Figur 2: Eksempel på datarepræsentationen i GIS vejnetdatabasen

Databasen består af følgende tabeller (Se også Figur 2):

1. En tabel med den geografiske information (Geographic table).
2. En netværks tabel, der beskriver stræknings-topologien (Network table).

3. En stræknings-attributtabel (Link attribute table).
4. En svingbevægelsestabel (Turntable)

I Figur 2 ses et eksempel på datarepræsentationen af et kryds i databasen. Metoden anvender følgende oplysninger i stræknings-attributtabelen:

1. Vejklasse
2. Antal kørespor
3. Kapacitet
4. Hastighed
5. Trafik
6. Ensrettet/dobbelrettet

Ovennævnte oplysninger vil normalt være til rådighed i eksisterende trafikmodeller, som indeholder en kapacitetsafhængig rutevalgsmodel. Oplysningerne om trafikmængderne på strækningerne kan f.eks. frembringes ved at foretage en trafikudlægning med en eksisterende rutevalgsmodel.

Rang	Betegnelse	Datarepræsentation i vejnet	Hastighedsområde km/t	Antal kørespor	Ideelt kapacitetsområde biler/t
1	tilslutningsveje	enkelt eller dobbelrettet	40-90	1	-
				2	-
2	forbindelsesveje	enkelt eller dobbelrettet	40-110	1	-
				2	-
3	lokalveje i byområde	enkelt eller dobbelrettet	30-40	1	-
				2	-
4	veje i åbent land	dobbelrettet	40-80	1	-
				2	1000-3300
				3	3300
4	trafikveje i byområde	dobbelrettet	40-70	2	2000-3300
				4	6000
				6	9000
		enkeltrettet		1	2000
				2	2000-3300
				3	4500
6	motortrafikveje	dobbelrettet	80-90	2	2000-3300
				3	3300
				4	7400
		enkeltrettet		1	2000
				2	3700
7	motorveje	enkeltrettet	90-110	1	2000
				2	3700
				3	5600
				4	7400
8	færgeruter	-	-	-	-
9	fiktive strækninger	-	-	-	-

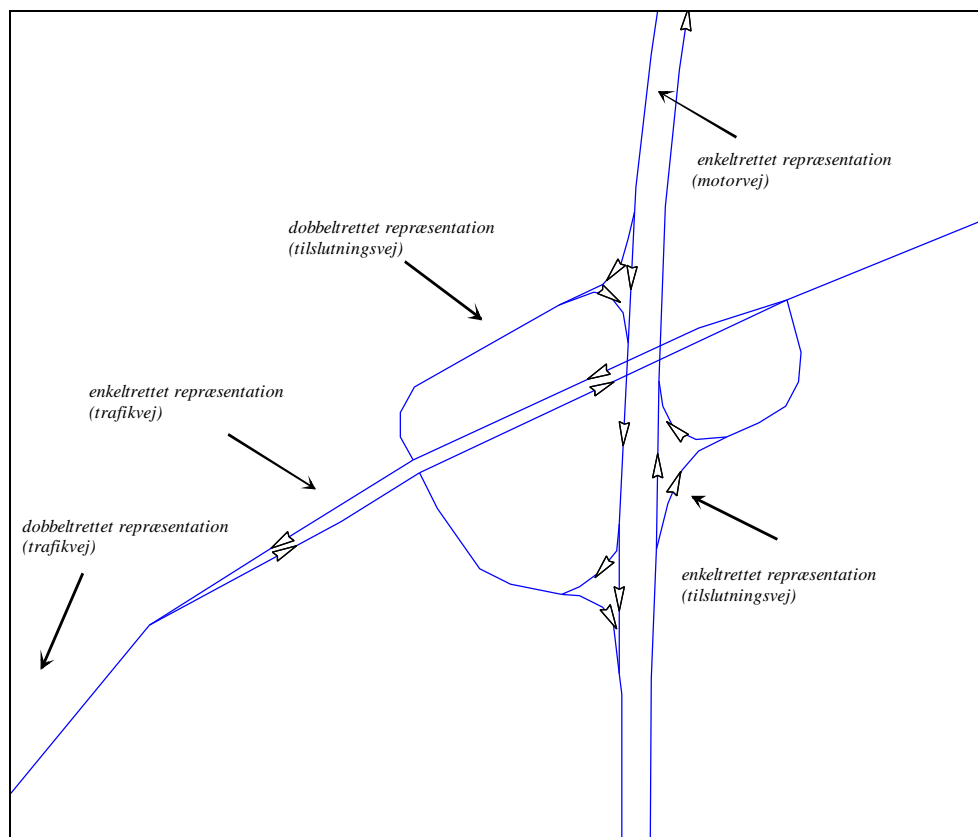
*Tabel 0: Sammenhængen mellem vejklasse og datarepræsentation i GIS vejnetdatabasen*

På grundlag af den geografiske tabel og netværkstabelen kan Arc/Info oprette en svingbevægelsestabel, der indeholder alle svingbevægelser i netværket. En svingbevægelse er defineret ved en knudeidentifikation og ved to strækningsidentifikationer. Knuden repræsenterer krydset og de to strækninger repræsenterer henholdsvis til- og

frafartsstrækningen for svingbevægelsen. Desuden indeholder svingbevægelsestabel-  
len vinklen mellem tilfarten og frafarten for hver svingbevægelse. Netværkstabel-  
len, attributtabelen og svingbevægelsestabelen udgør inddata for det C-program, der op-  
stiller datagrundlaget for krydsmodellerne i rutevalgmodellen.

Eftersom det normalt ikke er på alle strækninger, der forefindes tællinger vil det kun  
være muligt at erstatte den modellerede trafik med tællerresultater på et mindre antal  
strækninger. Vejklassificeringen må være udført med en vis detaljeringsgrad og være  
konsistent med repræsentationen i det digitale kort (den geografiske tabel). I Tabel 1 og  
i Figur 3 er vist sammenhængen mellem vejklassificeringen og repræsentationen i det  
digitale kort som den er i den afprøvede model.

Vejklassificeringen er af praktiske grunde udtrykt ved en talværdi (en rangordning),  
som det ses i Tabel 1. Den anvendte opdeling omfatter 9 vejklasser og er i hovedsagen  
ikke ændret i forhold til den oprindelige opdeling i vejnetdatabasen. Som det ses i  
Figur 3 er nogle strækninger kun repræsenteret med med en linje i det digitale kort,  
mens andre strækninger er repræsenteret med en linje for hver kørselsretning.



*Figur 3: Eksempler på datarepræsentationen af vejstrækninger i den geografiske tabel (det digitale kort).*

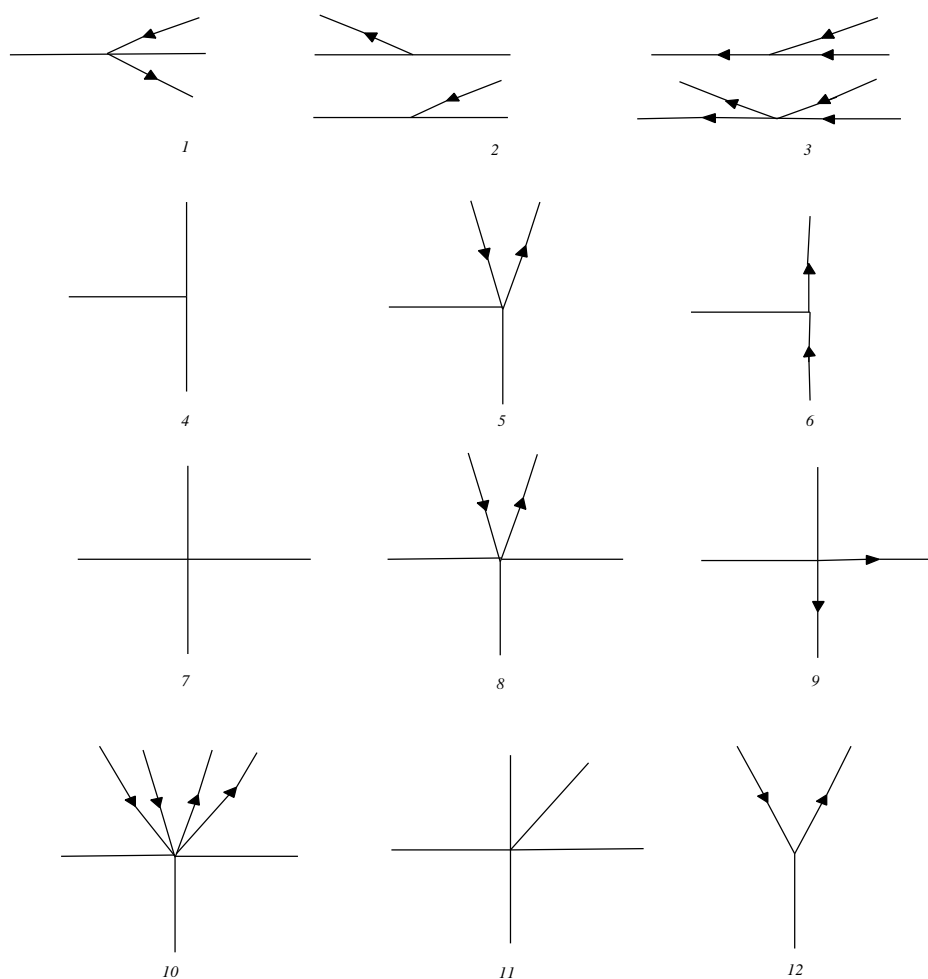
### **3 Principper og funktioner**

Den grundlæggende antagelse som ligger til grund for metoden er, at GIS vejnetdatabasen indeholder den information, der er nødvendig for at kunne bestemme reguleringsformen og de tilhørende parametre for de anvendte krydsforsinkelsesmodeller for

hvert knudepunkt i det digitale kort. Metoden kan identificere knudepunkter med følgende reguleringsformer:

1. Prioriterede kryds med 3 eller 4 arme
2. Signalregulerede kryds
3. Kilestrækninger og Y-kryds

Rundkørsler bliver ikke identificeret automatisk og bliver derfor identificeret som en af ovenstående reguleringsformer. Brugeren af programmet kan dog manuelt angive at et knudepunkt repræsenterer en rundkørsel, hvorefter programmet opstiller parametre for denne reguleringsform. På samme måde kan andre fejlfortolkninger manuelt korrigeres, såfremt brugeren har kendskab til de faktiske forhold. I Figur 4 er vist eksempler på forskellige knudepunkter, der kan forekomme i vejnettet.



Figur 4: Eksempler på forskellige knudepunkter. 1-3 er kilestrækninger, 4-6 er T-kryds, 7-9 er F-kryds, 10-11 er kryds med mere end 4 arme og 12 er et Y-kryds

Metoden er implementeret som en sekventiel procedure bestående af 5 funktioner. Disse 5 funktioner udfører følgende opgaver og nærmere beskrevet i næste afsnit:

1. Opdeler knudepunkterne i nogle hovedtyper
2. Fjerner ulovlige svingbevægelser
3. Bestemmer prioritering og svingretninger (højre, venstre eller ligeud)

4. Bestemmer reguleringsform
5. Bestemmer parametre for de forskellige krydsforsinkelsesmodeller

### **3.1 Opdeling i hovedtyper**

Det første trin i proceduren består i at fastlægge hovedtypen af knudepunkterne. Formålet med denne opdeling er at adskille knudepunkter, der er omfattet af modellering fra de øvrige knudepunkter. Derfor opdeles knudepunkterne i følgende 4 hovedtyper:

1. Y-kryds og kilestrækninger (12. og 1.-3. i Figur 4)
2. Centroider og andre ikke behandlede knuder
3. Kryds med 3 eller 4 arme (4.-9. i Figur 4)
4. Kryds med mere end 4 arme (10.-11. i Figur 4)

For at kunne opdele knudepunkterne i hovedtyperne anvender programmet attributterne vejklasse og ensrettet/dobbeltrettet. Desuden anvendes vinklen mellem tilfarten og frafarten. Ved at inddrage ensrettet/dobbeltrettet og vinkel informationen er programmet i stand til at bestemme T- og F-kryds, hvor en eller flere arme er repræsenteret af 2 enkeltrettede strækninger (Se f.eks. 5. og 8. i Figur 4). Dermed undgås det at kryds fejlagtigt bliver bestemt til at være f.eks. med 4- eller 5 arme i stedet for med 3- eller 4- arme.

### **3.2 Frasortering af ulovlige svingbevægelser**

Det næste trin består i at frasortere ulovlige svingbevægelser, idet den dannede svingbevægelsestabel omfatter alle svingbevægelser i vejnettet. Programmet anvender ensrettet/dobbeltrettet og vinkel informationen til dette formål. Dermed frasorteres alle svingbevægelser som forløber mod ensretninger. Ved at udnytte vinkel informationen kan programmet endvidere frasortere andre typer ulovlige svingbevægelser, som f.eks. svingbevægelsen fra den venstre arm til den højre arm i Y-krydset (12. i Figur 4).

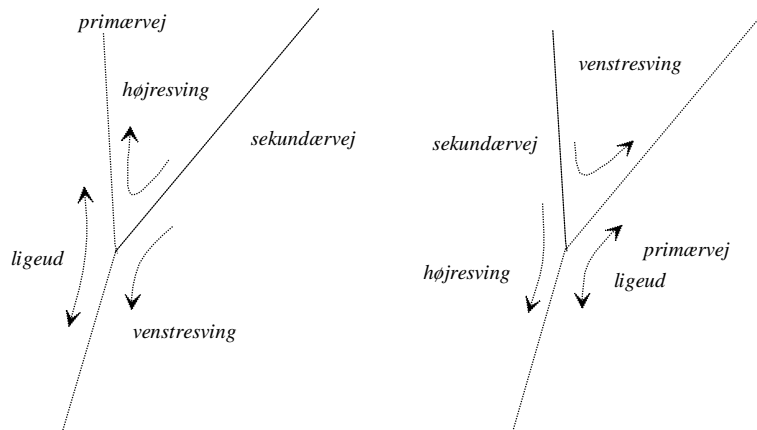
### **3.3 Svingretninger og prioritering**

Knudepunkterne tilhørende hovedtyperne 1.-2. er ikke omfattet af krydsforsinkelsesmodellerne implementeret i rutevalgsmodellen. Derfor bliver disse krydstyper ikke behandlet videre i programmet. Svingretninger og prioritering fastlægges kun for knudepunkterne med 3 eller 4 arme. Eftersom princippet i metoden er forskelligt afhængigt af om det er et T-kryds eller et F-kryds følger beskrivelsen denne opdeling.

For T-kryds må prioriteringen bestemmes inden svingretningerne, hvilket skyldes, at svingretningerne vil afhænge af hvordan prioriteringen er fordelt på de 3 indgående strækninger. Til bestemmelsen af prioriteringen anvendes attributterne vejklasse, antal kørespor eller vinkel informationerne for krydset. Ved bestemmelsen antages det at attributterne for primærvejen har større værdier end attributterne for sekundærvejen. F.eks. hvis et kryds består af en 4-sporet vej og af en 2-sporet vej antages det at den 4-sporede vej er primærvejen. Når prioriteringen er fastlagt bestemmes svingretningerne ved at sammenligne vinklerne for svingbevægelserne i krydset.

I F-kryds er det klart, at 2 strækninger, der ligger overfor hinanden i krydset udgør en krydsende vej. Ved hjælp af vinkel informationerne for svingbevægelserne kan svingretningerne derfor bestemmes uafhængigt af prioriteringen. Prioriteringen bestemmes ved at sammenligne attributterne for de krydsende veje. Fordi de 2 indgåen-

de veje er sammensat af 4 strækninger gøres dette ved at sammenligne summen af attributterne for den ene retning med summen af attributterne for den anden retning. Den retning, hvor summen af attributterne er størst vil blive bestemt til at være primærvejen.



Figur5: I T-kryds er svingbevægelsesretningerne afhængige af prioriteringens fordeling

### 3.4 Reguleringsform

Bestemmelse af reguleringsformen omfatter hovedtyperne 3 og 4 og består i at opdele disse knudepunkter i prioriterede kryds og i signalregulerede kryds. For knudepunkter med 3 eller 4 arme anvendes et vejledende kriterium for valg af signalregulering som reguleringsform fra Byernes Trafikarealer (Vejdirektoratet 1991). Kriteriet er i hovedsagen baseret på trafikmængderne i krydset. Knudepunkter med mere end 4 arme har som standard signalregulering som reguleringsform.

For at kunne vurdere kvaliteten af programmets bestemmelse af reguleringsformen er der knyttet en "rating" til hvert knudepunkt. Denne "rating" gør det muligt, at udvælge kryds, hvor sandsynligheden for at programmet har fortaget fejlagtige bestemmelser af reguleringsformen er størst.

### 3.5 Parametre for krydsforsinkelsesmodellerne

Programmets sidste funktion tildeler svingbevægelserne parametre, der anvendes af krydsforsinkelsesmodellerne i rutevalgmodellen. For prioriterede kryds bestemmes de overordnede trafikstrømme og tidsgapparametre for hver svingbevægelse. For signalregulerede kryds bestemmes grøntider og grøntimekapaciteter m.m. for hver svingbevægelse. Herved opnås et datagrundlag, som gør det muligt at anvende krydsforsinkelsesmodeller med en relativ høj detaljeringsgrad. Resultatet er en svingbevægelsestabel, som indeholder alle de nødvendige oplysninger, som rutevalgmodellen skal bruge til at beregne krydsforsinkelserne.

## 4 PRAKTISKE ERFARINGER

I Tabel 2 ses fordelingen af de forskellige knudepunkttyper ved anvendelse af metoden med inddata fra den afprøvede model. Anvendelsen af metoden har vist at prioritering og svingretninger tolkes korrekt med en stor nøjagtighed. Med hensyn til tolkningen

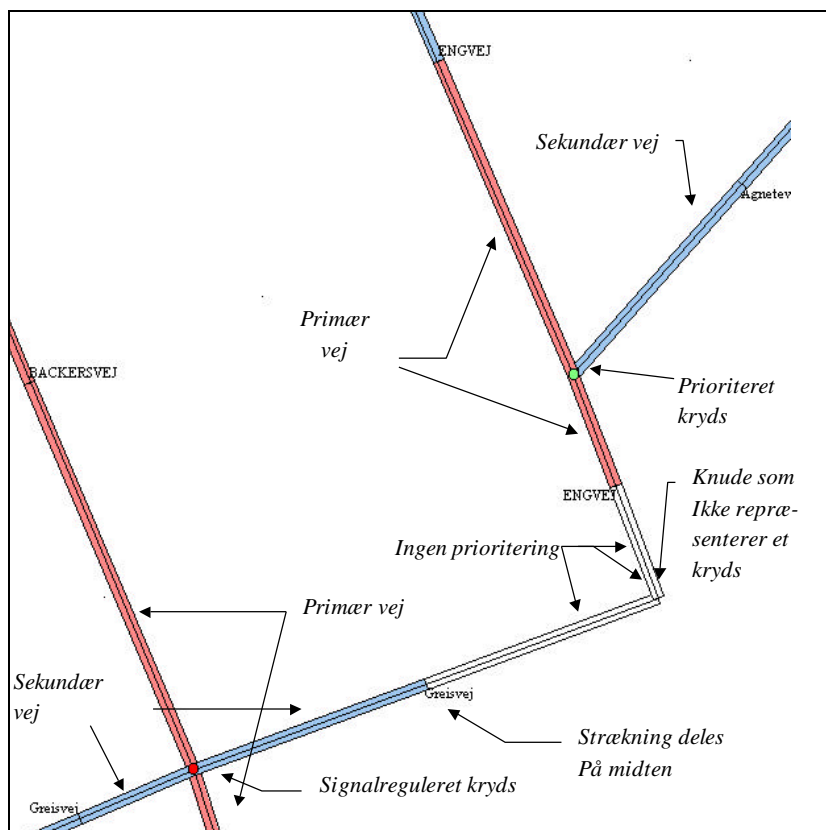


reguleringsformen er metoden ringere. Metoden vil dog i de fleste tilfælde tolke reguleringsformen korrekt, men såfremt brugeren ønsker en meget høj grad af overensstemmelse mellem modellen og virkeligheden må metoden suppleres med manuelle inddateringer af reguleringsformen. Dette vil f.eks. være tilfældet for de knudepunkter, der repræsenterer rundkørsler. Hvis brugeren ønsker eksplicit modellering af rundkørsler må denne information tilføres modellen.

Resultaterne kan også visualiseres ved brug af et GIS program (Se Figur 5). I det konkrete tilfælde er anvendt programmet TMM-viewer, Tetraplan. Ved at tildele knudepunkterne i det digitale kort forskellige farver afhængig af f.eks. reguleringsformen kan brugeren få et overblik over kvaliteten af tolkningen og korrigere evt. fejlfortolkninger. Ved at splitte strækningerne på midten er det ligeledes muligt at visualisere f.eks. prioriteringsbestemmelsen. Visualiseringen viste sig i den den praktiske anvendelse at være et effektivt værktøj til generel kvalitetssikring af modellens datagrundlag.

Knudepunktstype	Antal
Centroider	296
Kilestrækninger	440
Prioriterede T-kryds	432
Prioriterede F-kryds	64
Signalregulerede T-kryds	422
Signalregulerede F-kryds	338
Kryds med mere end 4 veje	16
Knudepunkter med mindre 3 veje	334
Andre ikke behandlede knudepkt.	85
Total	2424

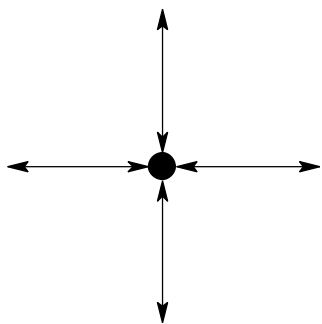
Tabel 2 Fordelingen af de forskellige reguleringsformer ved anvendelse af metoden med HTM-data



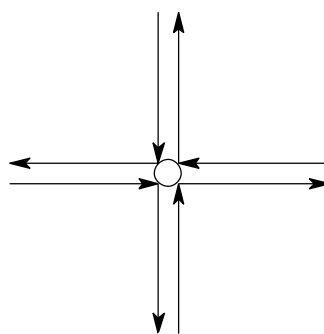
Figur 5 Visualisering af metodens resultater ved hjælp af GIS

## 5 NETVÆRKS REPRÆSENTATION AF KRYDS

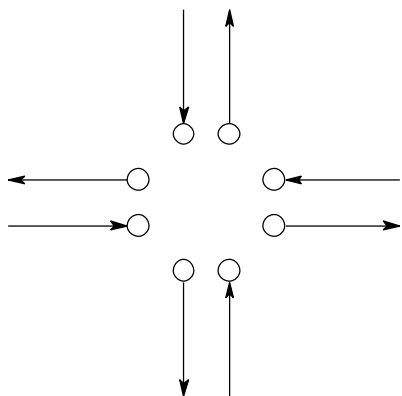
For at gøre det muligt, at beregne krydsforsinkelserne i rutevalgmodellen må svingbevægelserne oversættes til en repræsentation bestående af kanter og knuder. Det vil sige, at alle vejstrækninger og svingbevægelser må være repræsenteret ved en kant i et sammenhængende netværk. Dette afsnit omhandler, hvorledes vejnet og svingbevægelsestabel kan oversættes til et netværk. I Figur 6-8 er vist, hvordan et kryds med 4 arme oversættes til det ønskede netværk, hvor både strækninger og svingbevægelser er repræsenteret med kanter. Figur 6 viser krydset, som det er repræsenteret i vejnetdatabasen. Som det ses består krydset af 4 dobbelttredede kanter og en knude. I Figur 7 er repræsentationen ændret, idet hver af de 4 dobbelttredede kanter er oversat til 2 enkelttredede kanter. Krydset er nu en orienteret graf og såfremt modellen ikke omfattede krydsmodellering ville denne repræsentation kunne anvendes i rutevalgmodellen. I Figur 8 splittes knuden op i 8 knuder, som repræsenterer overgangen fra strækning til svingbevægelse. I Figur 9 indsættes kanterne, der repræsenterer svingbevægelserne. For hver af de 4 tilfarter indeholder grafen nu 3 kanter, som repræsenterer henholdsvis højre, venstre og ligeud.



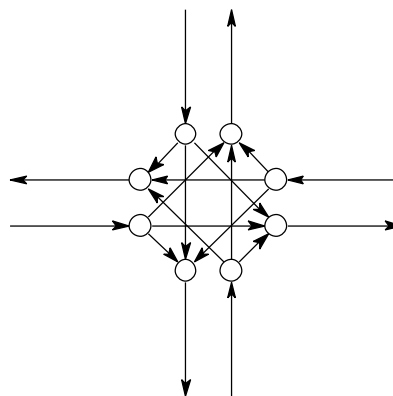
*Figur 6 F-krydset som det er repræsenteret i vejnettet*



*Figur 7 F-krydset oversat til orienteret graf*



*Figur 8 Knudepunktet opsplittes i 8 knudepunkter*



*Figur 9 Indsætning af kanter, som repræsenterer sving*

## 6 KONKLUSION

I dette paper præsenteres en metode, som kan anvendes til at opstille datagrundlaget for en rutevalgsmode med krydsmodellering. Metoden er opbygget som et ekspertsystem, der fortolker informationen i en GIS vejnetdatabase og opstiller det ønskede datagrundlag. Knudepunkterne i vejnettet bliver opdelt i forskellige typer, som f.eks. prioriterede kryds og signalregulerede kryds og det nødvendige datagrundlag for krydsforsinkelsesmodellerne bliver opstillet. Det omfatter bl.a. frasortering af ulovlige svingbevægelser, informationer om vigepligter og fastlæggelse af svingretninger. Metoden er blevet afprøvet på fuldskala vejnet og erfaringerne har vist at metoden kan opstille det ønskede datagrundlag med god nøjagtighed. Dermed kan det konkluderes at metoden kan reducere tidsforbruget og omkostningerne i forbindelse med opstilling af datagrundlaget for en rutevalgsmode med krydsmodellering meget betragteligt.

Transportrådet takkes for finansiering af dette forskningsprojekt. Civilingeniør Jørgen Knoop takkes for at have gennemgået metodens resultater i forbindelse med afprøvningen af metoden.

## REFERENCER

Frederiksen, Rasmus Dyhr & Simonsen, Nikolaj. *Modellering af kryds i biltrafikmodeller*. Eksamensprojekt . IFP, DTU. December, 1996.

Nielsen, O.A., Frederiksen, R.D. & Simonsen, N. (1997a). Stochastic user equilibrium traffic assignment with turn delays in intersections. Paper, *at Seventh international conference on information systems in logistic and transport*, Göteborg, June.

Nielsen, O.A., Frederiksen, R.D. & Simonsen, N. (1997b) SUE – Rutevalgsmode med krydsforsinkelser. Artikel til Trafikdage på AUC'97.