

# KØBENHAVN-RINGSTED MODELKOMPLEKSET – FRA TOGSIMULERING TIL SAMFUNDSØKONOMI

Otto Anker Nielsen, Per Thorlacius, Erik Rude Nielsen, Bo Grevy, Jens W. Brix &  
Kirsten Eljena Overgaard Jensen  
Banestyrelsen

## 1 INDLEDNING OG RESUME

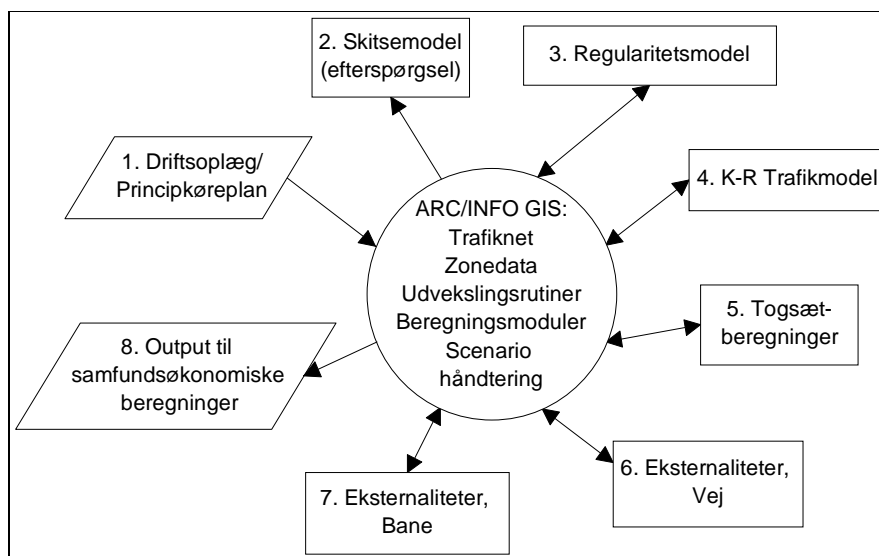
I forbindelse med København-Ringsted baneprojektets supplerende høring i efteråret 1998, gennemførte Banestyrelsen en samfundsøkonomisk vurdering af projektet. Denne vurdering indgik i den udgivne Linieføringsrapport med tilhørende Fagnotater. Landstrafikmodellen, som blev benyttet til de grundlæggende prognoseberegninger, levede dog ikke fuldt ud op til de ønsker der var til beregningstid, fleksibilitet, resultatform mm. Med henblik på den samfundsøkonomiske vurdering til den kommende VVM-redegørelsen besluttede Banestyrelsen derfor at opbygge et ny modelkompleks: København-Ringsted modellen (KRM). Artiklen beskriver overordnet denne model.

### 1.1 Modelkompleksets bestanddele

En central del af KRM er det *Geografiske Informationssystem*

(GIS) ARC/INFO (figur 1), der holder styr på det omfattende datagrundlag vedr. jernbane-, bus- og vejnet, zone-struktur, scenarier, m.v. Fra ARC/INFO er der implementeret udvekslingsrutiner til de forskellige modeldele.

Herved opnås et konsistent flow mellem forskellige delmodeller uden unødvendigt tab af detaljeringsniveau og information undervejs.



**Figur 1.** Stiliseret beskrivelse af delkomponenter af det samlede Kbh.-Ringsted modelkompleks.

En beregning starter med en såkaldt *principkøreplan*, der forholdsvis let kodes i et regneark. Principkøreplanens efterspørgselsmæssige konsekvenser kan først vurderes v.h.a. en *skitsemodel*. Herved udvælges en række af principkøreplanerne, hvis afvikling og regularitet vurderes af en omfattende *regularitetsmodel*. Denne fremgangsmåde er dog ikke benyttet i KRM, idet principkøreplanerne direkte er vurderet af regularitetsmodellen. Dette medførte typisk en vis efterbearbejdning/justering for at optimere køreplanen. Regularitetsmodellen giver input til en omfattende *trafikmodel*. Ud fra køreplanen og trafikmodellens passagerbelastninger

beregnes materielbehovet v.h.a. en såkaldt *togsætmodel*. Trafikmodellen og togsætmodellen giver derefter input til en række *effektmodeller* for hhv. bil- og kollektiv trafik (bane og bus). Resultaterne af effektberegningerne giver afslutningsvist input til den *samfundsøkonomiske* vurdering, som udføres separat fra selve modelkomplekset.

## 1.2 Empirisk grundlag

Det samlede modelkompleks bygger på et omfattende empirisk grundlag:

Regularitetsmodellen rummer en kodning af hovedjernbanenettet øst for Lillebælt på et detaljeringsniveau, hvor f.eks. alle spor, blokke og signalanlæg er beskrevet. Modellen blev kalibreret ud fra Banestyrelsens regularitetsdatabase, data fra DSB, suppleret med en række nye målinger på forskellige stationstyper. For privatbanetog, S-tog og busser blev regulariteten beskrevet ud fra statistiske fordelinger, som byggede på egne tidligere undersøgelser samt datamateriale, som blev stillet til rådighed af privatbane- og busselskaber.

Togsætberegningssmodellen blev kalibreret ud fra erfaringstal og interne dimensioneringsregler fra DSB og Banestyrelsen.

Trafikmodellen bygger videre på det bedste eksisterende data fra Ørestads-, Havnetunnel-, Storebælts-, Øresunds- og Landstrafikmodellerne, VejnetDK, Vejdirektoratets turmatricer, ALTRANS (DMU) suppleret med nye data fra forskellige busselskaber, DSB, Danmarks Statistik, HSK, HT samt amter og kommuners trafiktællinger. Endvidere blev der gennemført interviewundersøgelser i forskellige togtyper, i Kastrup, rundt om på Sjælland, m.v. ligesom en række af de eksisterende data er kvalitetssikret, viderebearbejdet eller suppleret med nyindsamlet data.

Eksternalitetsmodellerne følger retningslinier fra tidligere ikke-GIS-baserede modeller. Emissionsmodellerne bygger dog på en række målinger foretaget af Banestyrelsen Miljø. En række nødvendige data for vejnettet blev kodet til projektet, ligesom der blev dannet nøgler mellem modelvejnettet og et mere detaljeret digitalt vejnet – det såkaldte DAV-net.

## 1.3 Resultater

Fordelen ved at benytte GIS-baserede tilgange ved vurdering af vejprojekter er tidligere beskrevet i artikler fra DTU's GIS-T projekt, bl.a. Nielsen & Jacobsen (1996a) og Nielsen & Leleur (1995b). Arbejdet i nærværende artikel viser, at en GIS-baseret fremgangsmåde kan give tilsvarende fordele ved vurdering af Baneprojekter, om end modelkomplekset er mere omfattende. Eksempelvis skulle der implementeres en egentlig regularitetsmodel for togafvikling, mens forsinkelser på vej-siden behandles som speed-flow kurver og krydsmodeller direkte som en del af vejvalgsmodellen (jvf. Nielsen m.fl. 1997b).

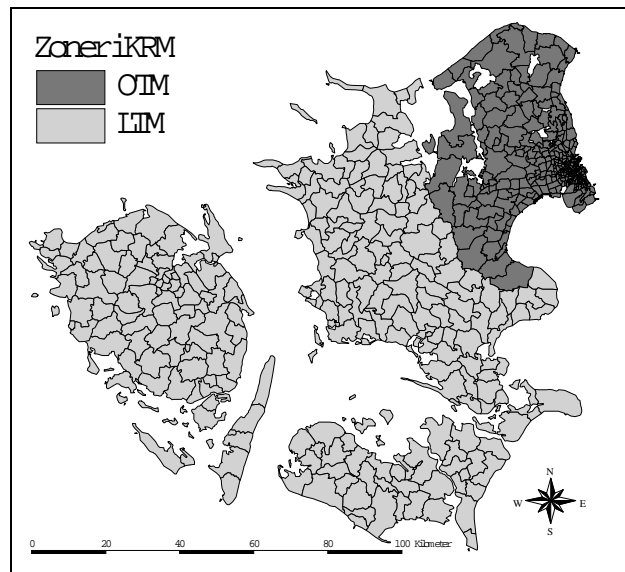
## 1.4 Om artiklen

Artiklen giver et overblik over det samlede modelkompleks, med størst fokus på sammenhængen mellem de forskellige modeller og de benyttede datastrukturer. Således starter artiklen i 2 med at gennemgå datagrundlag, mens afsnit 3 beskriver interaktionen mellem delmodeller. Det følgende afsnit 4 gennemgår kort hovedmodellerne i modelkomplekset, mens afsnit 5 konkluderer på arbejdet. For en mere detaljeret gennemgang henvises til projektets tekniske dokumentation samt Kaas (1999) og Nielsen m.fl. (1999a, b & c).

## 2 DATAGRUNDLAG OG HÅNDTERING HERAF

KRM er primært geografisk afgrænset til Danmark øst for Storebælt, dog uden Bornholm. For at undgå simple portzoner omfatter det egentlige modelområde imidlertid også Fyn med øer, men her modelleres ture til/fra Jylland samt internt på Fyn ikke fuldstændigt. Således er denne del af modelområdet kun medtaget for at beskrive trafikken til og fra Sjælland.

Derudover rummer modellen nøgler til Storebælts- og Øresundsmodellens beskrivelse af portzonetrafik til hhv. Jylland og Sverige. Da disse modeller er udviklet over længere tid specielt til disse formål, blev det valgt at benytte dem, fremfor at opfinde den dybe tallerken igen.



*Figur 2. Geografisk afgrænsning af KRM.*

### 2.1 Zonesystemer, zonedata samt oplysninger om arealanvendelse

KRM's primære zonesystem er uden for Hovedstadsområdet identisk med Landstrafikmodellens (LTM) zonesystem. Derved kan LTM benyttes til alternative efterspørgselsberegninger, og LTM's zonedata og turmatricer kunne med modifikationer genbruges i KRM.

Inden for Hovedstadsområdet blev Ørestadstrafikmodellens (OTM) zonesystem benyttet, idet OTM er mere detaljeret end LTM. Dog var det nødvendigt, at splitte 2 zoner i Roskilde op i 7 zoner, idet zonesystemet her var for groft (bl.a. af hensyn til beskrivelse af stationsnære områder og adgang til forskellige busruter). Tilsvarende blev Borup splittet op i to zoner.

Rent geografisk måtte der foretages en række konverteringer af OTM-zonerne, så de lå i samme koordinatsystem som i LTM. Derudover var det nødvendigt med en del tilretning på grænsen mellem de to zonesystemer. I alt indeholder modellen 610 zoner, heraf er de 18 portzoner, de 346 zoner i OTM-området og de 246 udenfor.

Af hensyn til interaktion med Øresundsmodellen (ØSM) og Storebæltsmodellen (SBM), blev disses zonesystemer endvidere digitaliseret. Således rummer KRM-systemet nu oversættelsesnøgler mellem KRM og OTM samt de mere aggregerede zonesystemer i ØSM og SBM. Det er let at aggregere zone- og trafikdata fra KRM til disse modeller. Derimod var det nødvendigt at implementere egentlige modeller til at disaggregere trafikdata den anden vej (se Nielsen m.fl., 1999a).

### 2.2 Vejnet

Inden for Hovedstadsområdet er vejnettet identisk med Ørestadsmodellens. Dette net blev i 1997 gennemgribende opgraderet, idet trafiktællinger blev kvalitetssikret, ligesom der blev indhentet tællemateriale fra en række kommuner. Derudover blev alle kryds kodet (prioritering, signalregulering, svingspor, grønne bølger, m.v.). Således er der nu 2.369 kryds med 19.111 svingbevægelser.

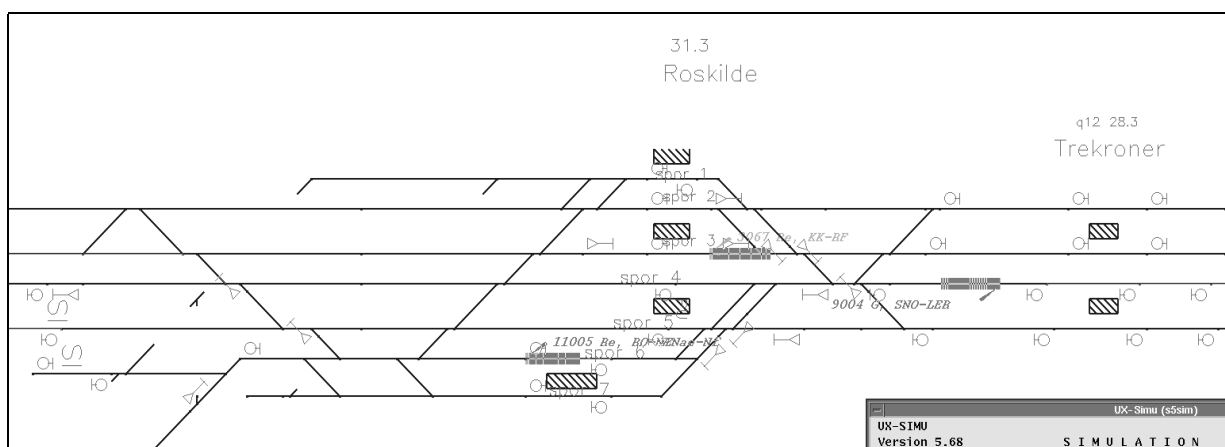
Uden for Hovedstadsområdet blev det valgt at bygge videre på VejnetDK<sup>1</sup>. At dette net blev valgt i stedet for Landstrafikmodellens (LTM) skyldtes:

- At trafiktællinger for hovedvejsnettet kunne indlæses automatisk i VejnetDK fra Vejsektorens Informationssystem (VIS).
- At en stor del af stræknings- og krydsklassificeringen var opbygget for VejnetDK i forbindelse med farligt godsprojektet (se Grevy & Jørgensen, 1998)
- At VejnetDK er rimeligt geografisk korrekt i sammenligning med LTM's net.

Det var dog nødvendigt med en betydelig efterbehandling af data for vejnettet uden for Hovedstadsområdet: Der blev etableret en funktionel vejklassificering, kapacitets forhold vurderet (kapacitet, antal kørespor samt parametre til speed-flow kurver), og de frie hastigheder skønnet (LTM rummer observerede samt skilte hastigheder, hvilket ikke kan danne indput til en kapacitetsafhængig vejvalgsmode, som Nielsen & Frederiksen, 1997b & 1999c). Det samlede vejnet rummer 24.677 strækninger, hvoraf 747 er zoneophæng og 12.006 udelukkende busveje<sup>2</sup>. De resterende 11.924 strækninger fordeler sig med ca. 3.000 i Hovedstadsområdet og resten udenfor.

### 2.3 Kollektive trafiknet i regularitetsmodellen

Det kollektive trafiknet i regularitetsmodellen er som nævnt særdeles detaljeret, hvilket figur 3 giver et eksempel på (se i øvrigt Kaas, 1999).



**Figur 3.** Eksempel på beskrivelse af jernbanenet ved Roskilde station i Regularitetsmodellen.

### 2.3 Kollektive trafiknet i trafikmodellen

I forbindelse med projektet 'Mobilitets- og Miljøkrav til Alternative Transportsystemer', ALTRANS, har Afdeling for Systemanalyse ved DMU opbygget en geografisk model af det

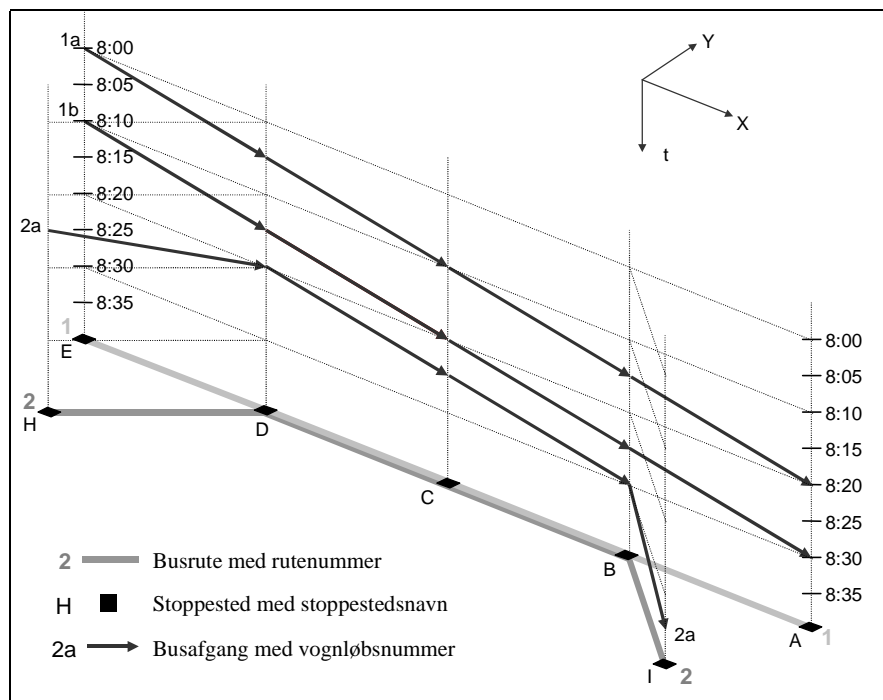
<sup>1</sup> VejnetDK ejes af Vejdirektoratet og KMS i fællesskab. I forbindelse med Kh-Rg arbejdet har Vejdirektoratet og Banestyrelsen Rådgivning indgået en aftale om vedligeholdelse og KS af VejnetDK. Arbejdet hermed er samfinansieret.

<sup>2</sup> VejnetDK består af et meget stort antal strækninger. Derfor benytter KRM kun trafikveje og landeveje af en vis størrelse, i visse tilfælde dog også lokalveje, der har en vis trafik. Idet busnettet i visse tilfælde kører på lokalveje, og busstoppesteder herfor er digitaliseret, var det nødvendigt at have flere veje med i beregningsnettet for busser end for personbiler.

kollektive transportsystem i Danmark (Thorlacius, 1998a & b). Denne model samt tilhørende data danner udgangspunkt for kodningen af kollektivruter i KRM. Modellen er en såkaldt vægtet, orienteret graf (jvf. f.eks. Cormen m.fl., 1990). I denne graf er stoppesteder og stationer repræsenteret som *punkter (knuder)*, medens muligheden for på et bestemt tidspunkt at bevæge sig mellem punkterne repræsenteret som *kanter (strækninger)*.

Grafens enkelte punkter og kanter er georefereret i planen, hvorved deres beliggenhed i modellen refererer til deres virkelige beliggenhed. Grafens punkter er derudover orienteret i tiden (jvf. figur 4). De fede linier i figuren repræsenterer et kort over busruter 1 og 2 i projektion. Herover er der udspændt et net af stiplede linier, hvor de lodrette linier repræsenterer den samme beliggenhed i planen, og de vandrette linier den samme beliggenhed i tiden.

På figuren er videre vist kanterne for tre vognløb, dvs. enkelte bussers fysiske bevægelse i tid og rum. Et skift mellem afgang svarer i modellen til at bevæge sig ned af tidsaksen ved et stoppested fra en afgang til en anden.



**Figur 4.** Tidsrepræsentationen i modellen for det kollektive transportsystem i ALTRANS.

Nettet rummer samtlige linier og afgange i det kollektive trafiksystem øst for Lillebælt. Jernbanenet er i 1992 beskrevet med en indlæst køreplan. I 2010 basisscenariet benytter privatbaner 1992-køreplanen, mens der for det resterende banenet er opstillet en forventet 2010 køreplan (driftsoplæg). Derudover kan der i 2010 opereres med forskellige scenarier/driftsoplæg. Busnettet er dannet ved indlæsning af busselskabernes 1992 køreplaner. Disse er kun i begrænset omfang justeret i 2010 nettet.

## 2.4 Zoneophæng

Der blev i projektet gennemført et ganske omfattende arbejde med at definere zoneophæng. I Landstrafikmodellen (LTM) var en del stationsnære zoner ikke fundet hertil, men kun til stoppesteder på perifere busruter. I KRM var det kollektive net nyt i forhold til LTM og OTM. Derfor måtte alle zoneophæng kodes forfra. GIS-baserede metoder kunne generere et første bud på zoneophæng. Men derefter var det nødvendigt med en betydelig efterbehandling og kvalitetssikring: Først ved almindelig manuel gennemgang, derefter ved ind-

ledende tests som korteste vejs algoritmer og test med den kollektive rutevalgsmodel, og til sidst ved kvalitetssikring af de første fulde modelkørsler.

Zoneophæng til vejnettet skulle derimod kun defineres uden for Hovedstadsområdet, idet OTM's blev benyttet i Hovedstadsområdet. Og da vejnettet var langt mere overskueligt, var det forholdsvist overkommeligt at kvalitetssikre disse ophæng.

Opbygningen af zone-ophæng var en hårfin balance: For få medfører at bestemte kollektive trafiklinier får for lidt eller meget trafik; for mange, at en del trafik kun benytter nettet på en lille del af rejsen, og at beregningstiden bliver for stor.

## **2.5 Gangstrækninger**

Nettet i ALTRANS indeholder samtlige kollektive linier og afgang. Derfor var det nødvendigt med en tilsvarende detaljering af skifteforhold. For linier, der afgår fra samme terminal, beskrives skift udelukkende ved forholdet mellem ankomst og afgangstid. Men for linier, der ikke afgår fra samme terminal, er det nødvendigt at etablere særlige gangstrækninger, hvis der skiftes mellem de pågældende linier. Dette var mest relevant for meget korte skift (f.eks. fra bus på stationspladsen ved Lyngby station til S-banen), der kunne genereres automatisk v.h.a. GIS. Men i visse tilfælde (f.eks. skift fra Hovedbanegården til Rådhuspladsen) går nogle passagerer faktisk ret langt for at skifte.

Derudover var det et problem, at der var digitaliseret for få busstoppesteder i ALTRANS, samt at nogle busselskaber kun havde få stop med i deres køreplansdatabaser. Dette var især uden for Hovedstadsområdet et problem ved en række byers stationer, hvor der i første omgang ikke var samme skiftemuligheder i modellens bus- og toget som i virkeligheden.

## **2.6 Turmatricer**

I Hovedstadsområdet tog bilturmatricer udgangspunkt i Havnetunnelmodellens matricer. Uden for Hovedstadsområdet blev Landstrafikmodellens matricer benyttet som udgangspunkt. Disse krævede dog en del efterbehandling, herunder opsplitting i turformål og tidsintervaller. Udgangsmatricerne blev samlet til hele det geografiske område fordelt på Pendlere, Studerende, Erhvervs og fritidsture med personbil, samt vare- og lastbilmatricer i de 3 tidsintervaller. Derefter blev MPME-metoden (se Nielsen 1997a) benyttet til at reestimere matricerne ud fra tællinger kombineret med Havnetunnelprojektets rutevalgsmodel (Nielsen m.fl. 1999c).

Kollektive turmatricer blev dannet ud fra Landstrafikmodellens turmønsterbeskrivelse kombineret med TU-data og oplysninger fra DSB's Østtælling.

## **2.7 Interviewdata**

Der blev gennemført omfattende RP- og SP analyser for at kunne estimere modellen. 7900 postkort blev uddelt til bilister, samt bus- og togpassagerer. Alle poster var fordelt uden for Stor-københavn, idet der allerede var udført tilsvarende analyser i København i forbindelse med Ørestads- (OTM) og Havnetunnelmodellen (HTM). På baggrund af de returnerede postkort blev der udvalgt 558 respondenter, for hvilke der blev udført grundigere SP-interviews. Der blev gennemført interviews for såvel præferencer for et bestemt transportmiddel som for valg mellem transportmidler. Data fra disse interviews og fra OTM og HTM blev sammen benyttet til at estimere

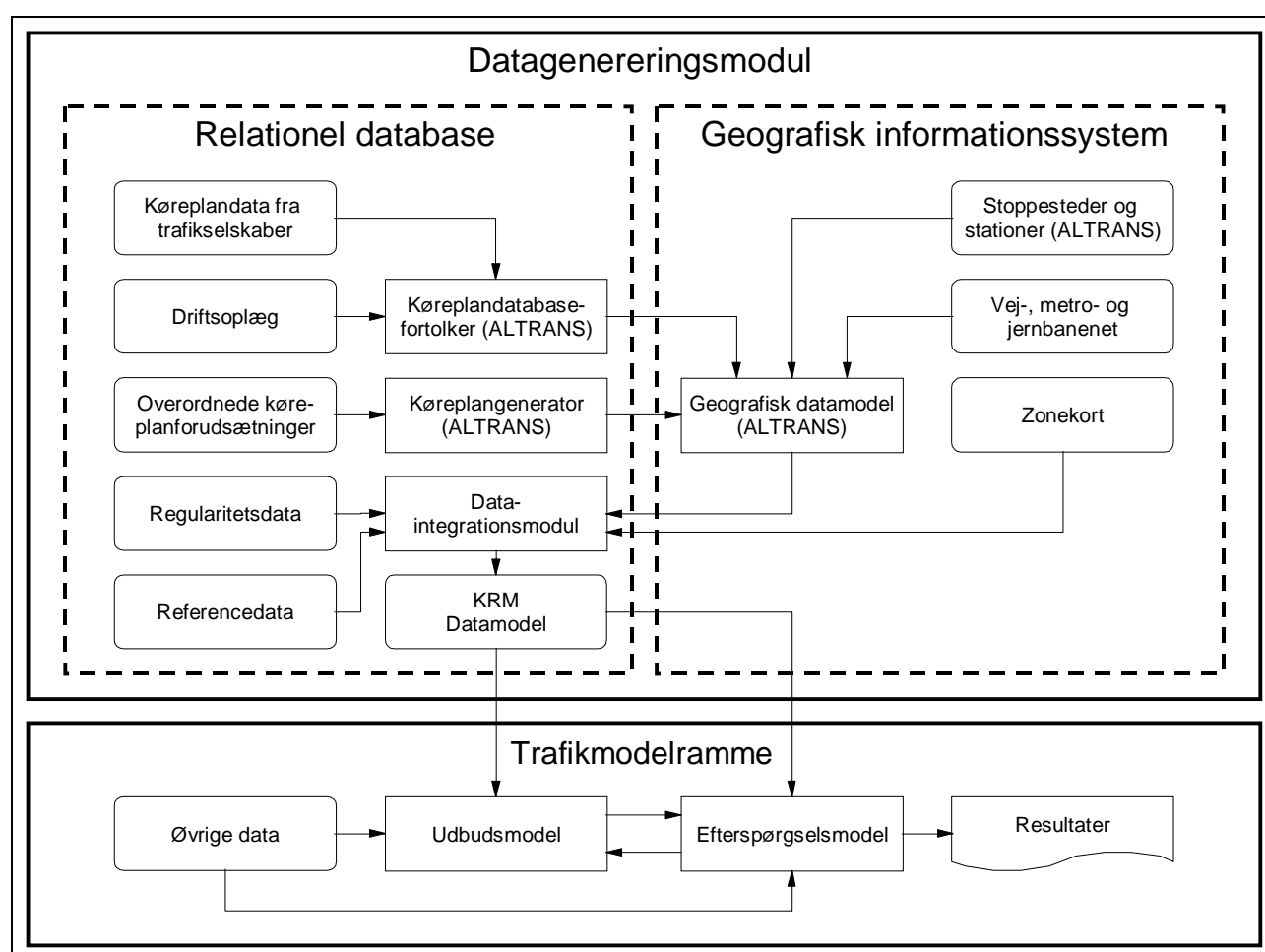
modellen Samlet indgår der SP-data fra 1181 respondenter fordelt på 36 eksperimenter, og 13.660 RP-observationer, ud over TU-data, der blev benyttet til turmønsterbeskrivelsen.

### 3 INTERAKTION MELLEM DELMODELLER

I det følgende beskrives datastrømme og oversættelse mellem forskellige delmodeller.

#### 3.1 Datastrømme i modellen

De mest komplekse datastrømme og modeller beskriver det kollektive trafiknet, hvis ruter overordnet styres af et *datagenereringsmodul* (jvf. figur 5). Dette modul styrer igen en række undermoduler, der varetager selve databehandlingen. Nogle af undermodulerne har et GIS som platform (øverst til højre) medens andre er implementeret i en relationel database (øverst til venstre).



**Figur 5.** Datastrømme for opbygning af kollektive trafiknet. Kasser med runde hjørner betegner datasæt, kasser med skarpe hjørner modeller eller programmer (moduler), og kasser med bølgelinie for den resulterende resultater.

Datastrømmene fra de meget forskelligartede datasæt ledes frem til modelkompleksets datamodel. Denne datamodel udgør grænsefladen til den såkaldte *trafikmodelramme*, der styrer alle undermoduler i selve beregningsgangen (udbuds- og efterspørgselsberegninger, mv.). Undervejs sker der en betydelig aggregering og disaggregering af data. Eksempelvis rummer

regularitetsmodellen samtlige spor, sporskifter, blokke og signaler for f.eks. den enkelte station, ligesom hvert enkelt vognløb simuleres. Trafikmodellen betragter derimod stationen som en knude og vognløbet mellem to stationer beskrives ved én køretid.

Datagenereringsmodulet styrer ligeledes som scenariestyrværktøj, til at holde styr på, hvilke data, der skal anvendes til hvilke beregningsscenarier. Således anvendes det i et vist omfang også til automatiske at generere zoneophæng og forbindelsesstrækninger for de scenarier, der omfatter nye stationer etc. Nedenfor gennemgås datagenereringsmodulets datastrømme i detaljer:

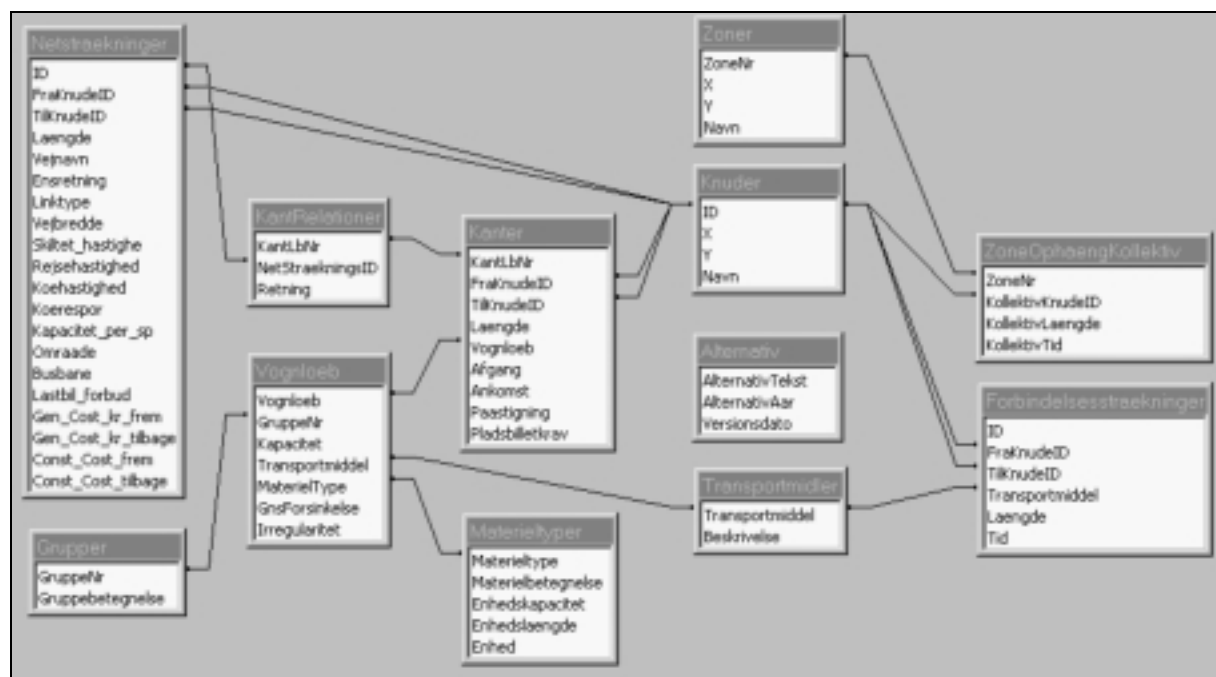
- Opbygningen af datamodellen tager udgangspunkt i *køreplandata fra trafikskaberne*. I KRM hidrører disse fra fem forskellige trafikskaber, der leverer data i tre forskellige formater. Disse formater kan alle læses af ALTRANS' *køreplandatabasefortolker*.
- Kodning af *driftsoplæg* foretages i den såkaldte driftsoplægskabelon, der er et Excel-regneark fra hvilket data vha. et oversættelsesmodul kan læses direkte ind i ALTRANS' *køreplandatabasefortolker*.
- Derudover rummer den *geografiske datamodel* data om *stoppesteder og stationer*, samt data om den fysiske udformning af *vej-, metro- og jernbanenettet* (Thorlacius, 1998a).
- Vha. *overordnede køreplanforudsætninger* som køretid og frekvens for fremtidige transportmidler uden en egentlig køreplan (metro, ringbane), genererer den såkaldte *køreplans-generator* disse til den geografiske datamodel.
- Datastrømmen ledes derfra videre til KRM's *dataintegrationsmodul*, der sammensætter en 'datapakke' for hvert scenario. Pakken udgør KRM's *datamodel* for det kollektive trafiksystem (se afsnit 3.2). Input til dataintegrationsmodulet består udover data på *zoner* også af *regularitetsdata* og *referencedata*.
- *Regularitetsdata* er data om togenes og bussernes punktlighed. Disse er enten observerede (for tog med en eksisterende køreplan), forudsat (for busser på baggrund af stikprøver fra enkelte trafikskaber) eller beregnede vha. regularitetsmodellen for fremtidige driftsoplæg (Kaas, 1999).
- *Referencedata* er forskellige supplerende oplysninger om transportmiddel- og materieltype samt siddepladskapacitet for de enkelte afgange. Derudover er der oplysninger efter hvilke de enkelte afgange i køreplanen kan grupperes. Grupperingen har til hensigt at formindske beregningsgrafen for rutevalgsmodellen. Derudover omfatter referencedata også data om de zoneophæng og forbindelsesstrækninger i modellen, der er kodet manuelt. Som modellen tegner sig p.t. er størstedelen af zoneophængene kodet manuelt, medens størstedelen af forbindelsesstrækningerne er genereret automatisk ud fra bl.a. afstandskriterier vha. dataetableringsmodulet.

### **3.2 Den overordnede topologiske datamodel for kollektiv trafik**

KRM's datamodel for det private og kollektive transportsystem ligger i en database, der efter datagenereringen forefindes separat for hvert scenario som en færdig 'datapakke' til beregningsdelen af KRM. Databasen udgøres af tolv tabeller, hvis indbyrdes relationer fremgår af figur 6. Ved udviklingen af databasen blev det taget udgangspunkt i idéerne fra Nielsen, m.fl. (1998a) samt EU-projektet BRIDGES (Nielsen, m.fl. 1998b), men af hensyn til de



forskellige beregningsmodeller samt faglige problemer opdaget undervejs, blev modellen udvidet med flere objektklasser og ændret betydeligt.



**Figur 6.** Relationer mellem tabellerne i KRM's datamodel for det kollektive transportsystem.

Langt de fleste tabeller beskriver det kollektive transportsystem. *Netstrækninger*, *Knuder* og *Zoner* beskriver dog også det private transportsystem (bilnettet), men indgår her også i en særskilt model (se afsnit 3.3). *Zoneophængene* forbinder zonerne med nettet. Matricer beskriver trafik fra og til zoner, men er ikke vist i figur 6.

*Kanttabellen* (*kanter*) er en liste over forbindelser mellem stoppesteder/stationer. Tabellen har foruden køreplansoplysninger (afgang- og ankomsttider for den pågældende forbindelse) også fraknode-ID, tilknode-ID, transportmiddel, længde mv.

*Kantrelationstabellen* beskriver hvilke fysiske strækninger i KRM's net, som de enkelte kanter i kanttabellen består af. Herved undgås redundans, idet mange kanter kan benytte samme fysiske strækninger (f.eks. mange afgange for forskellige busruter på samme vejstrækning).

*Vognløb* beskriver forløbet af en bestemt afgang (f.eks. buslinie 2 med afgang kl. 16.23). Hver *linie* består således af en række vognløb hen over dagen. Disse er beskrevet ved *gruppen*. Men vognløbene er ikke nødvendigvis identiske inden for en gruppe. F.eks. kan en linie tænkes at have et lidt andet forløb i og uden for myldretiden. Vognløbet benytter en bestemt *materieltype* og *transportmiddel*, der beskrives i egne tabeller.

*Forbindelsesstrækninger* forbinder knuder i det fysiske net. Transportmidlet er her typisk gang, men kan udvides i særlige tilfælde, f.eks. med en people-mover.

Derudover indeholder databasen en tabel til opbevaring af metadata (tabellen *Alternativ*), dvs. oplysninger om, hvilke data databasen (datapakken) indeholder, samt på hvilket tidspunkt data er fremstillet. Dette benyttes til projekt- og scenariestyling samt KS.

Ud over den *fælles* datamodel for alle delmoduler, har de enkelte moduler en række interne datamodeller. Regularitetsmodellen eksempelvis en komplet beskrivelse af jernbaneinfra-

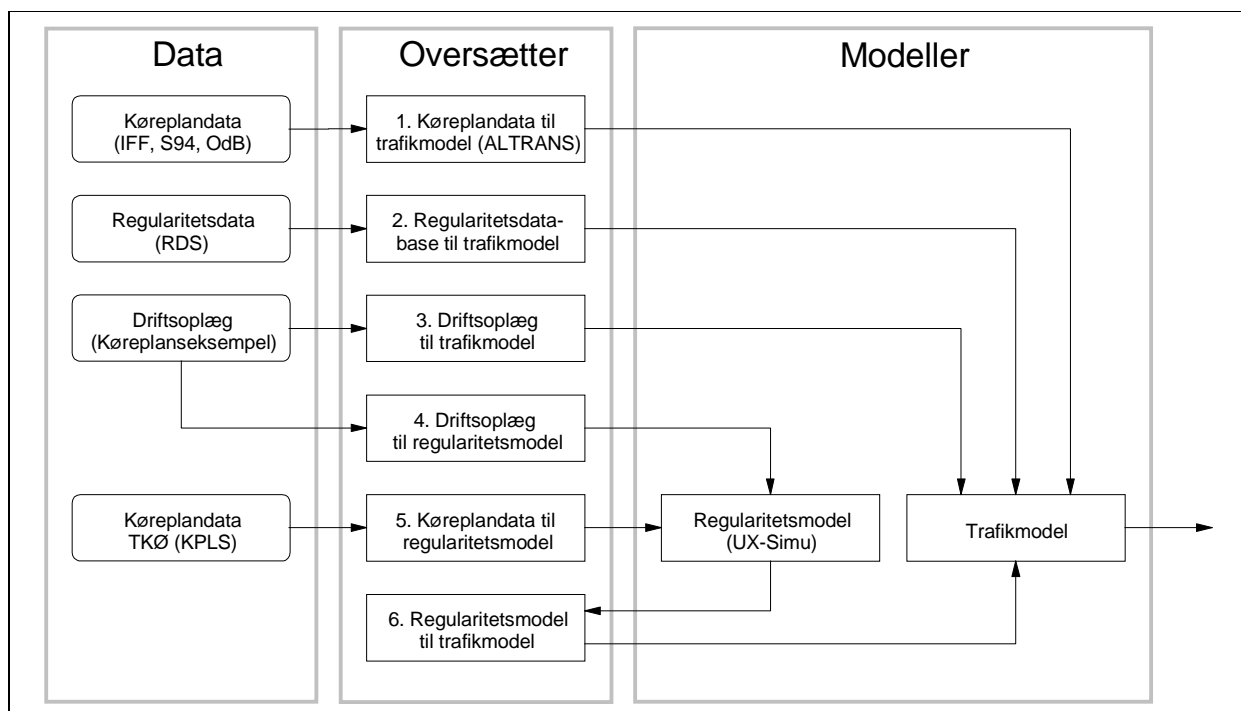
strukturen (spor, sporskifter, blokke, signaler, m.v.), trafikmodellen interviewdata, turmatricer og styrefiler, og Vejstøjsmodellen det detaljerede DAV-kort med huse, sogne.

### 3.3 Vejnet

Vejnettets primære bestanddele er fælles med det kollektive net, nemlig *strækninger* og *knuder*. Men zonestrukturen er hængt op på vejnettet v.h.a. særskilte *zoneophæng* herfor. Dette skyldes, at adgangen er mere direkte til vejnettet end det kollektive trafiknet (hvor man typisk går eller cykler hen til et bestemt stoppested). Derudover er der knuder i det fysiske vejnet, hvor der slet ikke er kollektiv trafik. Endvidere rummer beskrivelsen af vejnettet en særskilt database med beskrivelse af vejkryds, herunder prioritering, signalregulering og svingbevægelser (se Nielsen m.fl. 1997c) Vejnettet eksporteres til trafikmodellen via et særskilt tekstformat.

### 3.4 Oversættere mellem forskelligt software

Afsnit 3.1 – 3.3 gennemgik idealiseret datastrukturen og dataflowet i KRM. Imidlertid indgår en række forskellige softwaresystemer i KRM, hvilke ikke nødvendigvis benytter data i en ligeså idealiseret form. Derfor måtte der implementeres en række oversættere, der kunne få de enkelte moduler til at spille sammen med den overordnede datamodel. Figur 7 viser disse oversættere for det kollektive trafiknet. For vejnettet blev der benyttet samme oversættere som i Havnetunnelmodelprojektet.



Figur 7. Oversigt over dataoversættere mellem KRM's hovedmodeller.

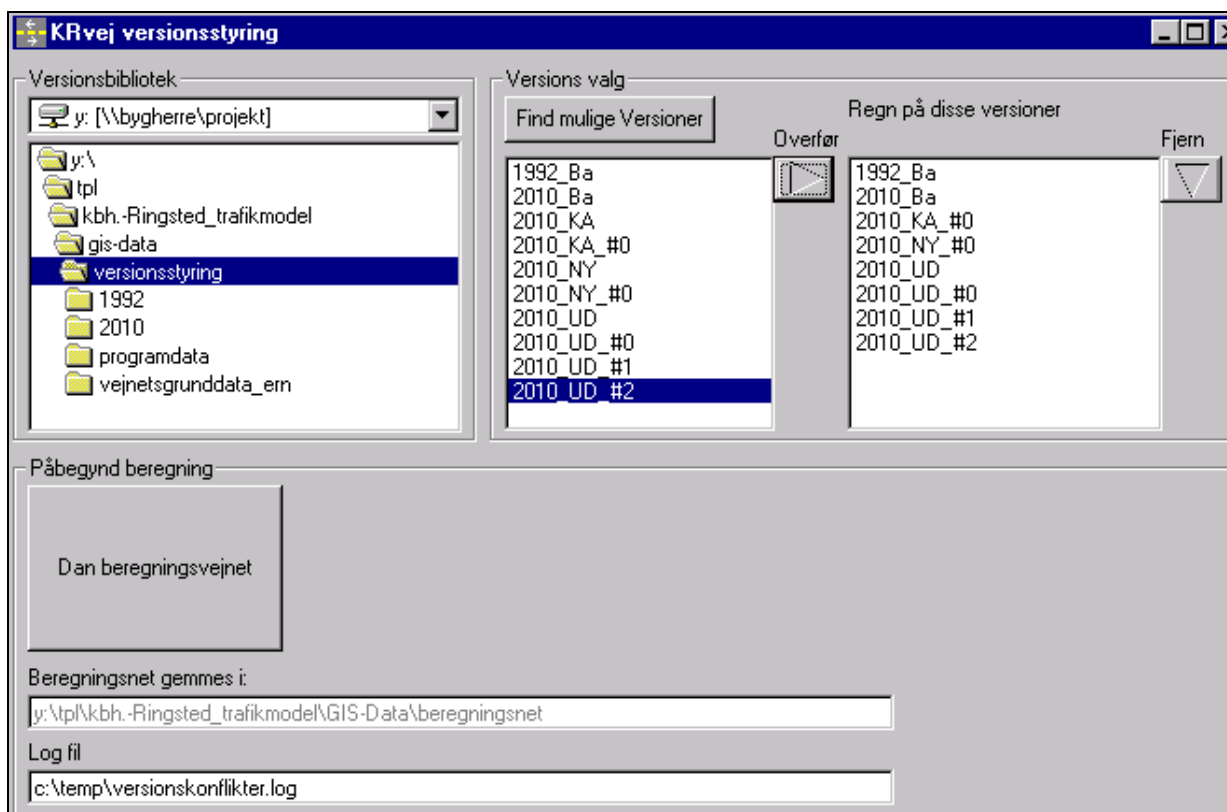
### 3.5 Perspektiver for datamodellen

Arbejdet med kodningen af det kollektive transportsystem i KRM har givet anledning til en række principielle overvejelser. P.t. udgør grænsefladen mellem det geografiske informationssystem og den relationelle database en vis performancemæssig og konceptuel barriere. På

sigt kunne man ønske, at også de geografiske data lægges i en relationel database, f.eks. under anvendelse af det til ARC/INFO hørende produkt SDE (Spatial Database Engine). Dette svarer til trenden inden for GIS-området, hvor der er en udvikling væk fra dagens lukkede interne filformater. Herved vil der på sigt kunne dannes en egentlig generel datamodel for et kollektivt transportsystem, hvor den relationelle database tjener som dataplatform for modellen og det geografiske informationssystem som vedligeholdelsesværktøj for data. Et sådant system ville automatisk kunne vedligeholde transportsystemets topologi, f.eks. så tilføjelse af en ny station automatisk medfører en justering af zoneophæng og gangstræk til nærmeste busstoppesteder ud fra fastsatte kriterier.

### 3.6 Versionsstyring af alternativer i den ydre modelramme

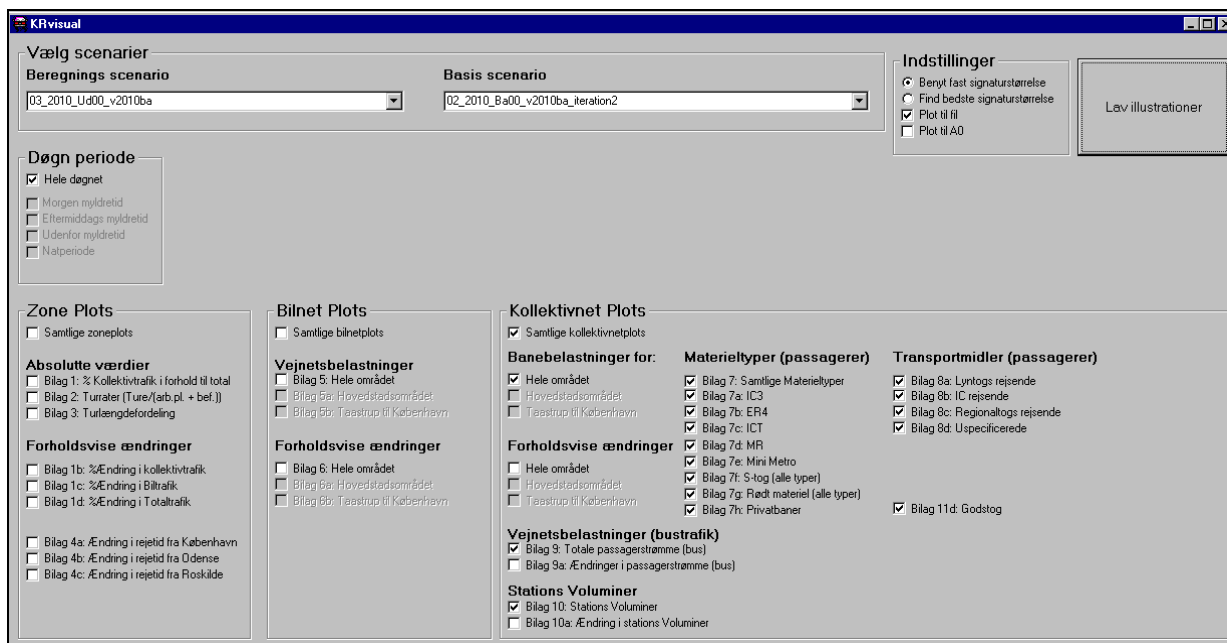
Versionsstyring af vejnetalternativer i KRM foregår i et selvstændigt program, der holder styr på prognoseår, samt hoved- og underalternativer. Opbygningen af et alternativ med forskellige varianter foregår hierarkisk ved, at programmet for det givne år starter i det øverste niveau og derefter tilføjer de ændringer der beskrives af tekstfiler i underbibliotekerne. Eksempelvis kan prognoseåret beskrive om Kastrupbane er åbnet eller ej, hovedalternativet kan være udbygningsløsningen og delalternativet en variant heraf. Eventuelle konflikter mellem versionernes hovedalternativer og underalternativer noteres automatisk. For at holde styr på alle filer og direktorater er der implementeret en brugerflade til versionsstyringsprogrammet (se figur 8).



Figur 8. Brugersiden til versionsstyringsprogrammet.

### 3.7 Plotrutiner

Til kvalitetssikring og fortolkning af beregninger fra KRM er der udviklet et program der kan producere standardillustrationer for hvert gennemregnet alternativ (figur 9). Illustrationerne beskriver zone-, bilnet- og kollektivnetbaserede data. For kollektive trafiknet illustreres banebelastninger i antal passagerer fordelt på materieltyper og på transportmidler, buspassagerer fordelt på vejnettet, samt stationsvolumener. Det er endvidere muligt, at illustrere forskelle mellem scenarier indenfor de samme kategorier.



Figur 9. Brugerflade til plotteprogrammet, der automatisk genererer forskellige illustrationer.

## 4 GENNEMGANG AF HOVEDMODELLERNE

I det følgende gennemgås hovedmodellerne i KRM, med primær fokus på de dele, der ikke beskrives i Kaas (1999) og Nielsen m.fl.. (1999a, b & c).

### 4.1 Skitsemodellen

Formålet med skitsemodellen er at kunne efterprøve et stort antal driftsoplæg for overordnet at kunne belyse, hvilken type driftsoplæg der leder til størst nytte for brugerne, set relativt til driftsøkonomien ved driftsoplægget. Driftsoplagene genereres automatisk og dækker KR modellens område geografisk, dvs. området øst for Lillebælt. Detaljeringsgraden er sænket fra 610 KR-zoner til 30 storzoner for at kunne gennemregne et større antal driftsoplæg (ca. 700.000). Desuden beregner modellen ikke eksakte nytteværdier for driftsoplagene, men derimod nytten relativt med udgangspunkt i specificerede variabler (køretid, betjening af zoner, antal skift undervejs på rejsen mellem zone-par).

### 4.2 Regularitetsmodellen

For en beskrivelse af regularitetsmodellen henvises til Kaas (1999).

### 4.3 Kh-Rg Trafikmodellen

Kh-Rg trafikmodellen er i sig selv et omfattende system af forskellige delmodeller, hvorfor der henvises til Nielsen m.fl. (1999a) for en nærmere beskrivelse heraf. Trafikmodellen har internt en række forskellige datamodeller samt beregningsmodeller, hvis sammenhænge som nævnt styres af trafikmodelrammen. Inden for denne er der yderligere en speciel ramme, der styrer delmodellerne i efterspørgselsmodellen. Således indgår rammerne for disse to niveauer (trafikmodel og efterspørgselsmodel) som en 'kinesisk æske' i den samlede KRM-modelramme.

### 4.4 Togsætmodellen

Togsætmodellen giver for en given køreplan et estimat på forbrug af antal togsæt og antal sætkilometre fordelt på togtyper. Passagemængderne fra trafikmodellen indgår i beregningen af antal togsæt, hvilket nødvendiggør en egentlig disponering af togene (f.eks. et langt tog i den ene retning i myldretiden må køre halvtomt tilbage den anden retning).

### 4.5 Effektmodellerne

Tabel 1 giver en oversigt over effektmodellernes output og dettes benyttelse i de videre beregninger af samfundsøkonomiske rentabilitet. Alle effektberegninger styres automatisk af modelrammen, og resultater leveres herfra automatisk i forskellige oversigter i databaseformater. KRM leverer endvidere en række nøgletal til VVM-redegørelsen, bl.a.:

- Trafikarbejde vejtrafik (personbil, varebil, lastbil, bus).
- Trafikarbejde kollektiv trafik (ICT, IC3, IR4, S-tog + metro, privatbane, Bus).
- Energiforbrug (personbil, varebil, lastbil, bus, ICT, IC3, IR4, EG-gods).
- Togmetre på snit (ICT, IC3, IR4, S-tog, EG-gods).
- Stationsvoluminer for udvalgte stationer.
- Passagemængder på snit ICT, IC3, IR4, S-tog + minimetro, privatbane.

Disse oplysninger er vigtige for beslutningstageres og offentlighedens stillingtagen til projektet, og udgør således et supplement til den samfundsøkonomiske vurdering.

#### 4.5.1 Vejstøjsmodellen

Vejstøjsmodellen bygger på den Nordiske støjmodel (Jonasson. & Nielsen, 1996). Her udregnes såkaldte støjband, der bestemmer afstanden fra vejmidten til det sted, hvor et givet støjniveau netop ikke overskrides. Et GIS-program udregner derefter på basis af et husstands polygon tema og et vejnet antal boliger inden for intervallerne 50-55dB, 55-60dB, ..., 75db og op. Kortgrundlaget for støjberegningerne er KRM vejnettet overført til KRAKgeoinfo's DAV net, sogndata fra d.o., KMS' VisIT (Topografisk Kortværk) samt arealanvendelser fra D200 fra KMS. Husstandstemaet er genereret ved at kombinere de tre sidstnævnte kort. Sogndata om husstande er v.h.a. GIS fordelt ud på de enkelte huse i det digitale kort. Der er tale om en meget ressourcekrævende beregning, idet husstands temaet og det i processen dannede støjbandstema efter at være blevet lagt sammen indeholder over en million polygoner.

Benyttes til beregning af	Effekt	Opgøres fordelt på	Beregningsforudsætninger
Tidsgevinster	Tidsgevinster passagerer	(bus, persontog, S-tog, metro, privatbane) x (pendlere, erhverv, studerende, andre) x (køretid, ventetid, forsinkelse, skiftetid, skjult ventetid, adgangstid)	Tidsgevinster beregnes på trafikmodellens output på matrix-niveau, v.h.a. 'rule-of-the-half'. Derved indgår trafikspring samt ændret turfordeling og transportmiddelvalg i tidsværdiberegningen. Tidsgevinster for vare- og lastbiler opgøres i køretøjsminutter, andre tidsværdier i personminutter.
	Tidsgevinster bilister	(personbil, varebil, lastbil) x (pendlere, erhverv, studerende, andre) x (køretid, forsinkelse)	
Emissioner	Emissioner tog	(EG-gods, ICT, IC3, IR4) x (NOx, SO2, partikler, CO, HC, CO2)	Tabelopslag baseret på målinger. Afhænger af materiel, standsningsmønster og hastighed fra driftsoplægget
	Emissioner vej	(personbil, varebil, lastbil, bus) x (NOx, partikler, HC, CO2)	Output fra trafikmodel. Notater udleveret af Vejdirektoratet samt oplysninger fra oliebranchens fællesrepræsentation. Afhænger af vægt (person-, vare- og lastbil), brændstoftype, hastighed, kørelængde, år og katalysatoranvendelse. Energiudnyttelse, udvikling i anvendelse af katalysator samt andre teknologiske ændringer afhænger af årstal.
Energiforbrug	Energiforbrug tog	EG-gods, ICT, IC3, IR4	Som for emissioner
	Energiforbrug vej	personbil, varebil, lastbil, bus	Som for emissioner
Støjbelastede boliger	Støj vej	Støjbelastede boliger fordelt på 50-55 db(A), 55-60, 60-65, 65-70, 70-75, >75	Output fra trafikmodel. Beregnes ud fra den Nordiske Støjmodel (Jonasson & Nielsen, 1996). Bufferzoner sammenlignes med digitalt kort (se afsnit 4.5.1)
Uheld, vej		Dræbte, alvorligt tilskadekomne, lettere tilskadekomne	Output fra trafikmodel. Beregnes ud fra videreudvikling af Vejdirektoratets metode (se afsnit 4.5.2)
Uheld, bane	Trafikarbejde tog	ICT, IC3, IR4, S-tog, minimetro, privatbane	Output fra trafikmodel. Tabelopslag inden for hver kategori.
Energi og vedligeholdelses omkostninger	Trafikarbejde tog (togsæt)	(ICT, IC3, IR4) x antal togsæt	Output fra trafikmodellen samt energiberegning
Lokoføreromkostninger	Togminutter	ICT, IC3, IR4, S-tog, minimetro, privatbane, EG-gods	Output af trafikmodellen
Togpersonaleomkostninger	Togsætminutter	(ICT, IC3, IR4) x antal togsæt	Output af togsætmodel. Opdelingen i togsæt er vigtig for IR4-tog.
Materiel og klargøringsomkostninger	Materielbehov	ICT, IC3, IR4	Output af togsætmodellen
Billetindtægt		Samlet indtægt	Output fra trafikmodellen
Storebæltsgift	Storebæltskrydsninger	Personbil, varebil, lastbil, bus	Output fra trafikmodel
Brændstofgift	Brændstofforbrug, vejtrafik	(benzin, diesel) x (personbil, varebil, lastbil, bus)	Output fra energi og emissionsmodeller

**Tabel 1.** Effektmødelernes output. Bemærk, at enkelte kombinationer i søjlen 'opgøres fordelt på' ikke giver mening, og derfor ikke beregnes.

#### **4.5.2 Vejriskomodellen**

Vejriskomodellen baserer sig på vejdirektoratets uheldsmodel, hvor de enkelte kryds og strækninger inddeles i såkaldte AP-typer på baggrund af bl.a. antal kørespor, bredde og signallregulering. For de enkelte AP-typer har Vejdirektoratet estimeret parametre, der gør det muligt at beregne antal personskadeuheld på baggrund af trafikmængden.

Uheldsmodellen giver derimod ikke direkte antallet af dræbte, alvorligt tilskadekomne eller lettere tilskadekomne. Derfor var det nødvendigt at estimere faktorer der fordele personskadeuheld på dræbte og tilskadekomne. Dette blev gjort ved at finde AP-typen for hvert uheld i Vejdirektoratets uheldsdatabase ud fra dets stedfæstelsesoplysninger, og kombinere denne oplysning med oplysninger om antal dræbte, antal alvorligt tilskadekomne og antal lettere tilskadekomne. Ved at summere disse oplysninger for hver AP-type blev faktorerne etableret. Vejdirektoratet har leveret uheldsoplysninger for årene 1989-1995 med de ovenfor beskrevne oplysninger. Der indgik i alt 10.326 personskadeuheld i kryds, og 13.167 personskadeuheld på strækninger til estimering af faktorerne, heraf var det dog kun henholdsvis 5.426 og 8.629 uheld som AP-typen var kendt for.

#### **4.6 Samfundsøkonomiske vurderinger**

Til den samfundsøkonomiske vurdering kan det frit vælges, hvor stor en del af modelkompleksets output som ønskes anvendt. Beregningen af den samfundsøkonomiske rentabilitet er ikke en del af modelkomplekset, men laves særskilt ved brug af effektberegningers output, værdisætning og bl.a. anlægstekniske data.

### **5 KONKLUSION**

Artiklen gennemgår den overordnede opbygning af København-Ringsted modelkomplekset (KRM). En så kompleks og omfattende model til vurdering af jernbaneprojekter og kollektiv trafik har ikke tidligere været implementeret i Danmark, og forfatterne bekendt heller ikke internationalt.

KRM rummer en række forskellige delmodeller, som bygger på forskellige edb-platforme og softwareløsninger. Uden GIS havde det ikke været muligt at koordinere disse. Men alligevel krævede det en betydelig indsats at opbygge en fælles topologiske model, der var tilpas åben til, at alle delmodeller kunne benytte den. Derudover nødvendiggjorde 'det forhåndenværende søms princip' en række oversættere mellem de enkelte modellers interne dataformater og det fælles dataformat.

Ved hjælp af KRM kan kapacitetsmæssige og regularitetsmæssige konsekvenser af forskellige driftsoplæg nu vurderes både m.h.t. driftsmæssige konsekvenser og konsekvenser for efterspørgsel og passagergrundlag. Via trafikmodellen kan trafikale konsekvenser på vejsiden også vurderes. Trafikmodellen kan derved give input til en detaljeret beregning af eksternaliter, der giver det fornødne grundlag for såvel driftsøkonomiske (togsætberegninger, billetindtægt, energiforbrug) som samfundsøkonomiske (driftsøkonomi, tidsgevinster, støj, emissioner, risiko, etc.) vurderinger.

Således er der nu dannet et værktøj, som har stor værdi ved vurdering af nye infrastrukturforslag (egentlige samfundsøkonomiske vurderinger) og køreplaner (operatørers mere kortsigtede plan-

lægning). Især for DSB og HT, men også for andre busselskaber og infrastrukturejere vil dette have stor værdi.

**Tak til:** Hele Kbh.-Ringsted modelteamet for deres arbejdsindsats, og projektet for finansiering af arbejdet, såvel som faglige diskussioner.

## REFERENCER

- Cormen, T., Leiserson, C. E., Rivest, R. L. (1990). *Introduction to Algorithms*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Grevy, B. & Jørgensen, N.O. (1997). Transport af farligt gods. *Trafikdage på AUC*. Bind 2, s. 859-862.
- Jonasson, H. & Nielsen, H. L (1996) *Road Traffic Noise – Nordic Prediction Method*. TemaNord 1996:525. Nordic Council of Ministers.
- Kaas, Anders (1999). Regularitetsmodel for jernbaner. *Trafikdage på AUC*.
- Nielsen, O. A. & Jacobsen, C. R. (1995a) Brug af GIS til kommunal trafikplanlægning og beslutningsstøtte. *Trafikdage på AUC*. Konferencerapport, bind 2, s. 653-662.
- Nielsen, O. A. & Leleur, S. (1995b). Nye beslutningsværktøjer i vejsektoren. *Dansk Vejtidskrift*. Nr. 11, s. 18-21.
- Nielsen, O. A. (1997a). Estimation af turmatricer ud fra snittællinger – to metoder. *Trafikdage på AUC*. Konferencerapport 2, s. 377-390.
- Nielsen, O. A., Frederiksen, R. D. & Simonsen, N. (1997b). SUE-rutevalgsmode med krydsmodellering. *Trafikdage på AUC*. Suppleringsrapport, s. 263-274.
- Nielsen, O. A., Frederiksen, R. D. & Simonsen, N. (1997c). Et ekspertsystem til etablering af krydsdata. *Trafikdage på AUC*. Suppleringsrapport, s. 251-262.
- Nielsen, O. A., Israelsen, T. & Nielsen, E. R.. (1998a). Håndtering af trafikmodelnet i GIS; konflikter-, løsninger- og anvendelser. *Trafikdage på AUC*. Konference rapport, bind 1, s. 143-158.
- Nielsen, O. A., Israelsen, T. & Nielsen, E. R. (1998b). *BRIDGES TO GIS – Methodology*. Deliverable D5 & D6. BRIDGES Contract No PL96-1138. Project funded by EU, 4<sup>th</sup> Framework Programme.
- Nielsen, O. A. m.fl. (1999a). København-Ringsted Trafikmodellen. *Trafikdage på AUC*.
- Nielsen, O. A., Jovicic, G. & Møller-Pedersen, J. (1999b). En model for passagerers rutevalg under hensyntagen til kapacitets og regularitetsproblemer. *Trafikdage på AUC*.
- Nielsen, O. A. & Frederiksen, R. (1999c). En stokastisk flerklasse vejvalgsmode med fordelte koefficienter for tider og omkostninger. *Trafikdage på AUC*.
- Thorlacius, P. (1998a). *ALTRANS - Beregning af rejsetider for rejser med bil og kollektiv trafik*, Faglig rapport fra DMU Nr. 240, Roskilde 1998
- Thorlacius, P. (1998b). Time-and-Space Modelling of Public Transport Systems Using GIS. *Trafikdage på AUC*.