

ALTRANS

Beregning af rejsetider

for rejser med bil og
kollektiv trafik

Faglig rapport fra DMU, nr. 240

Per Thorlacius
Afdeling for Systemanalyse

Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser
August 1998

Datablad

Titel:	Beregning af rejsetider for rejser med bil og kollektiv trafik
Forfatter:	Per Thorlacius
Afdeling:	Afdeling for Systemanalyse
Serietitel og nummer:	Faglig rapport fra DMU nr. 240
Udgiver:	Miljø- og Energiministeriet Danmarks Miljøundersøgelser©
URL:	http://www.dmu.dk
Udgivelsestidspunkt:	August 1998
Faglig kommentering:	Linda Christensen
Layout:	Per Thorlacius og Lene Olsen
Tegninger:	Per Thorlacius
Bedes citeret:	Thorlacius, P. (1998): Beregning af rejsetider for rejser med bil og kollektiv trafik. ALTRANS. Danmarks Miljøundersøgelser. 51s. - Faglig rapport fra DMU, nr. 240
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.
Abstract:	Rapporten dokumenterer hvorledes der i forbindelse med forskningsprojektet ALTRANS er opbygget en model af transportsystemet for bil- og kollektivrejser i Danmark i det geografiske informationssystem ARC/INFO, og hvorledes denne model er anvendt til beregning af rejsetider for rejser hentet fra Danmarks Statistiks transportvaneundersøgelse.
Frie emneord:	Kollektiv trafik, Rejsetider, Serviceniveau Geografiske informationssystemer (GIS) Transportvaneundersøgelsen (TU)
Redaktionen afsluttet:	Juli 1998
ISBN:	87-7772-403-8
ISSN:	0905-815X
Papirkvalitet:	Klorfrit High Tech / 100 g
Tryk:	Grafisk Service, Risø
Sideantal:	54
Oplag:	250
Pris:	kr. 75,- (inkl. 25% moms, ekskl. forsendelse)

Udsnit af Kort- og Matrikelstyrelsens kortmaterialer er gengivet i henhold til tilladelse G18/1997.

Købes i boghandelen eller hos:

Danmarks Miljøundersøgelser
Postboks 358
Frederiksborgvej 399
DK-4000 Roskilde
Tlf.: 46 30 12 00
Fax: 46 30 11 14

Miljøbutikken
Information og Bøger
Læderstræde 1
1201 København K
Tlf.: 33 37 92 92
Fax: 33 92 76 90

Indhold

Forord 5

1 Indledning 7

- 1.1 Udgangspunkt 7
- 1.2 Modelspecifikationer 8
- 1.3 Modellens dele 9

2 Data 11

- 2.1 Vejkort 11
- 2.2 Jernbanekort 13
- 2.3 Destinationskort 14
- 2.4 Zonekort 16
- 2.5 Køreplandata 18
 - 2.5.1 Data fra trafikselskaber der anvender TR-System 19
 - 2.5.2 Data fra trafikselskaber der anvender *Journey Planner* 21
- 2.6 Registerdata 22
- 2.7 Data fra transportvaneundersøgelsen 22
- 2.8 Kvalitetssikring og datakvalitet 23
 - 2.8.1 Beliggenhedsmæssig nøjagtighed 24
 - 2.8.2 Tematisk nøjagtighed 24
 - 2.8.3 Tidsmæssig nøjagtighed 25
 - 2.8.4 Fuldstændighed 25
 - 2.8.5 Logisk konsistens 27
 - 2.8.6 Tilblivelse 27
 - 2.8.7 Øvrige kvalitetsparametre 28

3 Metoder 29

- 3.1 Submodeller for det kollektive transportsystem 29
 - 3.1.1 Køreplandatabasefortolkere 29
 - 3.1.2 Datamodel for det kollektive transportsystem 31
 - 3.1.3 Model til beregning af rejssetider for kollektivrejser 36
- 3.2 Submodeller for bilrejser 36
 - 3.2.1 Datamodel for transportnettet for bilrejser 36
 - 3.2.2 Model til beregning af rejssetider for bilrejser 37
- 3.3 Submodel til beregning af attraktions- og serviceniveaudata 38
- 3.4 Uddata fra modellen 38
- 3.5 Anvendt programmel 39

4 Diskussion 41

- 4.1 Data 41
- 4.2 Metoder 42
- 4.3 Resultater og status 48
- 4.4 Anvendelsen af GIS 49
- 4.5 Udblik 50

Kildefortegnelse 50

Forord

Denne rapport er en del af dokumentationen til forskningsprojektet ALTRANS - Mobilitets- og Miljøkrav til ALternative TRANSportsystemer. ALTRANS gemmeføres i sin helhed i Afdelingen for Systemanalyse med Civilingeniør Linda Christensen som projektleder. Det er projektets hovedformål at belyse, i hvilket omfang man gennem en koordineret og forstærket satsning på realistiske alternativer til bilen rent faktisk vil kunne forvente at opnå mere omfattende miljøforbedringer med rimelige omkostninger og konsekvenser i øvrigt.

Som led i en analyse af mulige adfærdsændringer er det et mål i projektet at få kendskab til, hvordan folks adfærd afhænger af den aktuelle kollektive trafikbetjening. Som led i disse analyser er udviklet en geografisk model for transportsystemet, som bl.a. beregner rejsetider med forskellige transportmidler afhængig af vejnettets udformning, byernes størrelse samt først og fremmest den kollektive trafiks køreplaner og rute. Denne rapport beskriver opbygningen og anvendelsen af den geografiske model for transportsystemet. Udviklingen af denne model har været et pionerarbejde, hvor der undervejs har måttet udvikles mange nye ideer og metoder, og hvor mange tekniske og praktiske problemer har måttet overvindes.

Per Thorlacius har udviklet den geografiske model, således som den beskrives og diskuteres i denne rapport. Desuden har han tilrettelagt den endelige og meget omfattende databehandling.

Linda Christensen har undervejs ledet det nødvendige dataarbejde og udviklet en række databehandlingsrutiner, der har muliggjort inddatering og kontrol af datagrundlaget i GIS. Disse rutiner er dokumenteret i et internt arbejdsnotat. Til udviklingen har også bidraget Henrik G. Bruun.

Henning Steen Hansen og Linda Christensen har bidraget med ideer og forslag til modeludviklingen. Ved inddatering og kontrol af data i GIS har medvirket bl.a. studenterne Christoffer Soltau, Mikkel Østergaard og Nikolaj Holtermann.

Udviklingen af ALTRANS og den geografiske model for transportsystemet har været muliggjort gennem støtte fra først og fremmest Transportrådet og Miljøstyrelsen, men også Energistyrelsen har ydet et væsentligt bidrag. Vi vil gerne takke for denne støtte og ikke mindst for den opbakning og tålmodighed, vi har mødt i den vanskelige proces.

Arbejdet med ALTRANS har været fulgt af en styringsgruppe bestående af Niels Buus Kristensen, COWI, Sten Leleur, DTU, Institut for Planlægning, John Holten-Andersen, Afdelingen for Systemanalyse, Susanne Krawack, Transportrådet samt repræsentanter for Miljøstyrelsen. Vi vil gerne takke for mange konstruktive kommentarer og forslag fra styringsgruppen, når vi har fremlagt de løbende varianter af modellen. Ligeledes vil vi takke Otto Anker Nielsen for positive kommentarer til herværende rapport.

1 Indledning

Denne rapport er en del af dokumentationen til forskningsprojektet ALTRANS - Mobilitets- og Miljøkrav til ALternative TRANSport-systemer. Forskningsprojektet falder i to delprogrammer:

Det første delprogramms hovedformål er at analysere den aktuelle transportadfærd og aktuelle holdninger til transport og transport-systemer. Dette delprogram er afrapporteret ved Jensen (1997a) og Jensen (1997b).

Det andet delprogramms hovedformål er at belyse, i hvilket omfang man gennem en koordineret og forstærket satsning på kollektiv trafik vil kunne forvente at opnå en miljøgevinst for det samlede transport-system. Kernen i det andet delprogram består i opstillingen af en økonometrisk adfærdsmodel til belysning af bl.a. transportmiddelvalg samt anvendelsen af denne adfærdsmodel til scenarieanalyser.

Til brug for opstillingen af adfærdsmodellen, er det bl.a. nødvendigt at beskrive det transportsystem, som er medvirkende årsag til transportmiddelvalget. Denne rapport omhandler den model hvormed denne beskrivelse foretages. Opstillingen af adfærdsmodellen er beskrevet i Rich (1998) og det samlede modelkompleks og dets anvendelse til analyse af scenarier beskrives i en rapport fra DMU, der udgives senere på året.

1.1 Udgangspunkt

Ved modelleringen af transportmiddelvalget tages der, jf. Rich (1998), udgangspunkt i, at den enkelte person vælger sit transportmiddel udfra forhold som bilhold, rejsens pris og rejsens tid sammenholdt med rejsetiden for et alternativt transportmiddel. For at kunne modellere transportmiddelvalget, er det derfor nødvendigt at kende den enkelte rejses varighed - både for det transportmiddel, der benyttes til rejsen og for et alternativt transportmiddel.

Det er imidlertid ikke kun rejsens samlede tid der er udslagsgivende for hvorledes en rejses kvalitet værdisættes, fx anses det som værende værre at vente et kvarter på bussen end at køre med den i et kvarter. Dette fænomen er almindeligt kendt, se fx COWI (1995).

En anden vigtig parameter i modelleringen af transportmiddelvalget er serviceniveauet af den kollektive trafik mellem de punkter, hvor rejsen foregår. Hvis der kører busser hele tiden, er folk naturligvis mere tilbøjelige til at vælge bussen som transportmiddel, end hvis der kun kører to busser om dagen.

Opstillingen af adfærdsmodellen tager udgangspunkt i data fra Danmarks Statistiks transportvaneundersøgelse (TU). Transportvaneundersøgelsen omfatter p.t. ca. 70.000 interviews med tilfældigt udvalgte personer om deres rejsevaner, økonomiske forhold mv. I interviewene spørges der for hver rejse bl.a. om rejsestart og rejsemål

på zoneniveau, rejsetid, hvornår rejsen har fundet sted og hvilket transportmiddel der er benyttet.

For at kunne opstille adfærdsmodellen skal der således for hver enkelt rejse i transportvaneundersøgelsens data beregnes rejsetider for hhv. bil og kollektive transportmidler. Endvidere skal serviceniveauet i den kollektive trafik i de punkter mellem hvilke den pågældende rejse foregår, beregnes.

Denne rapport beskæftiger sig med opbygningen og anvendelsen af en geografisk model af transportsystemet til beregning af disse parametre. Modellen er implementeret i det geografiske informations-system ARC/INFO.

1.2 Modelspecifikationer

Modellen beskrevet i denne rapport har sammenfattet følgende specifikationer:

Beregnete parametre

For hver rejse mellem to zoner i transportvaneundersøgelsen beregner modellen følgende parametre:

- Rejsetiden i bil;
- Rejselængden i bil;
- Rejsetiden med kollektive transportmidler fordelt på:
 - Ventetid;
 - Køretid;
 - Skiftetid.

For hver af zone beregner modellen ligeledes:

- Et udtryk for serviceniveauet af den kollektive trafik i zonen (udtrykt som antal kørte km kollektiv trafik pr. arealenhed);
- Et udtryk for attraktionerne tilhørende zonen (udtrykt som antal arbejdspladser etc.).

Forudsætninger

Beregningerne vedr. den kollektive trafik gennemføres ud fra følgende forudsætninger:

- Modellen beregner rejsetider ud fra køreplanoplysninger med et detaljeringsniveau ned til den enkelte afgang;
- Alle beregninger sker for samme køreplanperiode;
- Beregningen af rejsetiden gennemføres under hensyntagen til klokkeslæt;
- Der tages ikke hensyn til den præcise ugedag eller dato, men skelnes kun mellem hverdage, lørdage og søndage.

Definitioner

Rejsetiden defineres som den tid det tager at rejse den hurtigste rute fra rejsens udspring til dens mål. Rejselængden defineres som længden af den hurtigste rute.

Ventetiden er den tid, en passager må vente fra det tidspunkt vedkommende bestemmer sig for at ville rejse til rejsen rent faktisk kan gennemføres. Køretiden er den tid, som en passager kører med et

kollektivt transportmiddel. Skiftetiden er den tid som en passager må vente på korresponderende forbindelse, såfremt det er nødvendigt at skifte undervejs på rejsen.

Anvendelsespotentialer

Modellen tænkes anvendt til scenarieberegninger. De hovedparametre der i den forbindelse kan varieres er følgende:

- Rejsehastigheden i bil (idet der kan skelnes mellem forskellige vejtyper og mellem by og land, samt tages hensyn til trafikbelastning på vejnettet);
- Serviceniveauet i den kollektive trafik (idet der kan ændres på køreplanerne helt ned til den enkelte afgang);
- Data tilordnet de enkelte zoner (idet data kan varieres på forskellig vis, fx til simulering af flytning fra land til by eller omvendt).

1.3 Modellens dele

Nedenstående figur 1 skal tjene til at illustrere modellens forskellige dele.

Trekanten i baggrunden af figuren viser den samlede model af transportsystemet bestående af tre dele: En model for det kollektive transportsystem (nederst), en model for transportsystemet for bilrejser (i midten) og en model til beregning af serviceniveauet i den kollektive trafik (øverst).

Modellen af det kollektive transportsystem (den nederste del af trekanten på figuren) består af tre submodeller. Den første submodel er den såkaldte køreplandatabasefortolker, der omsætter data fra de enkelte trafikselskabers køreplandatabaser til en samlet datamodel for det kollektive transportsystem. Datamodellen er den anden submodel. Den tredje submodel er en beregningsmodel til beregning af rejsetider på datamodellen. Disse submodeller behandles i rapportens afsnit 3.1.

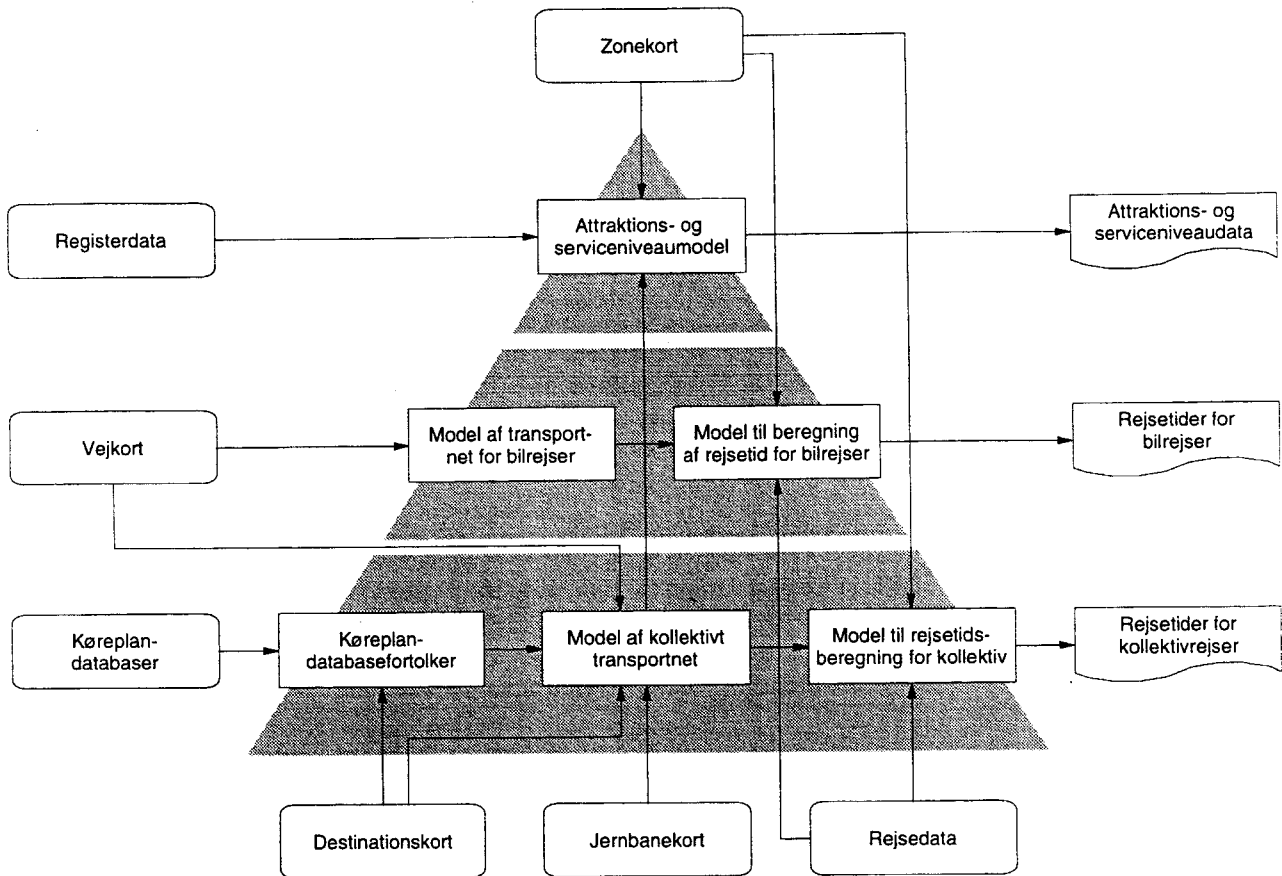
Den midterste del af trekanten på figuren viser de to submodeller for bilrejser: En datamodel for vejnettet og en beregningsmodel til beregning af rejsetider på dette vejnet. Disse submodeller behandles i afsnit 3.2.

Den øverste del af trekanten på figuren viser submodellen til beregning af serviceniveauet i den kollektive trafik og de såkaldte attraktionsdata. Denne submodel behandles i afsnit 3.3.

Til opbygningen af modellen anvendes forskellige datasæt: Geografiske datasæt i form af digitale kort over veje, jernbaner, zoner og destinationer, samt tabellariske datasæt i form af køreplandatabaser, registerdata og rejsedata fra transportvaneundersøgelsen. Alle disse datasæt beskrives i det følgende kapitel 2.

Modellens uddata beskrives i afsnit 3.4.

Rapporten afsluttes med en diskussion af projektets erfaringer vedr. data, metoder og resultater og et udblik til videre arbejde.



Figur 1: Datasæt, submodeller samt ind- og uddata i modellen til beregning af rejsetider og serviceniveau. Kasser med afrundede hjørner repræsenterer datasæt, firkantede kasser submodeller, kasser med bølgelinie fornedet uddata fra modellen.

2 Data

Til projektet er anvendt forskellige datasæt i form af digitale kort og tabeller. Hovedparten af datasættene stammer udefra, dog er enkelte datasæt fremstillet til formålet af Danmarks Miljøundersøgelser selv.

Geografiske datasæt

De digitale kort anvendt i projektet omfatter kort over veje, jernbaner, destinationer og zoner. Kortene er indlæst i det geografiske informationssystem ARC/INFO. Af hensyn til samhörigheden de enkelte kort imellem, har det været nødvendigt at transformere koordinater for visse datasæt fra System 34 til UTM zone 32. Dette er gjort som beskrevet i Jacobi (1983). De geografiske datasæt gennemgås nærmere i afsnittene 2.1 - 2.4.

Tabellariske datasæt

De tabellariske data anvendt i projektet omfatter køreplandata fra de enkelte trafikselskaber, registerdata fra Danmarks Statistik og rejse-data fra transportvaneundersøgelsen. Disse data er indlæst i det relationelle databasesystem Access. De tabellariske datasæt gennemgås nærmere i afsnittene 2.5 - 2.7.

Kvalitetssikring

De datasæt som tilvejebringes af Danmarks Miljøundersøgelser selv er underkastet et særligt program for kvalitetssikring. Dette behandles nærmere i afsnit 2.8.

2.1 Vejkort

Et meget centralt datasæt i projektet er det landsdækkende, digitale kort over vejnettet i Danmark, det såkaldte VejnetDK. Grundlaget for kortet er Kort- og Matrikelstyrelsens færdselskort i 1:200.000 i digital udgave (D/200) og egenskabsdata fra Vejdirektoratets og amtskommunernes vejdatabase (vis-systemet). VejnetDK indeholder ca. 62.000 km veje, svarende til 87% af den samlede længde af Danmarks offentlige veje. [Vejdirektoratet, Kort- og Matrikelstyrelsen (1996), Danmarks Statistik (1995)]

Attributter

VejnetDK består af fire tabeller, hvoraf tre tabeller beskriver vejnetkets knuder og én tabel vejnettets strækninger. Knudetabellerne indeholder - foruden koordinater - attributter med oplysninger om adresser og svingrestriktioner. Strækningstabellen refererer til knudetabellens koordinater og indeholder bl.a. følgende attributter: Strækningstype (motorvej, motortrafikvej etc.), målt længde, rutenummering, hastighed, ensretning, årsdøgn- og lastbiltrafik, vejbredde, politikreds mv. En del af oplysningerne foreligger kun for de strækninger som vejdirektoratet selv administrerede ved udgivelsen, dvs. det rutenummerede vejnet. [Vejdirektoratet, Kort- og Matrikelstyrelsen (1996)]

I VejnetDK optræder der, som det også ses af figur 3 side 13, intet tracé: De enkelte strækninger går i lige linie fra det ene vejkryds til det næste. Visse strækninger går dog ikke fra kryds til kryds, men har knuder, hvorfra der kun udgår to strækninger (pseudoknuder).



Figur 2: VejnetDK: Et digitalt kort med egenskabsdata over vejnettet i Danmark.

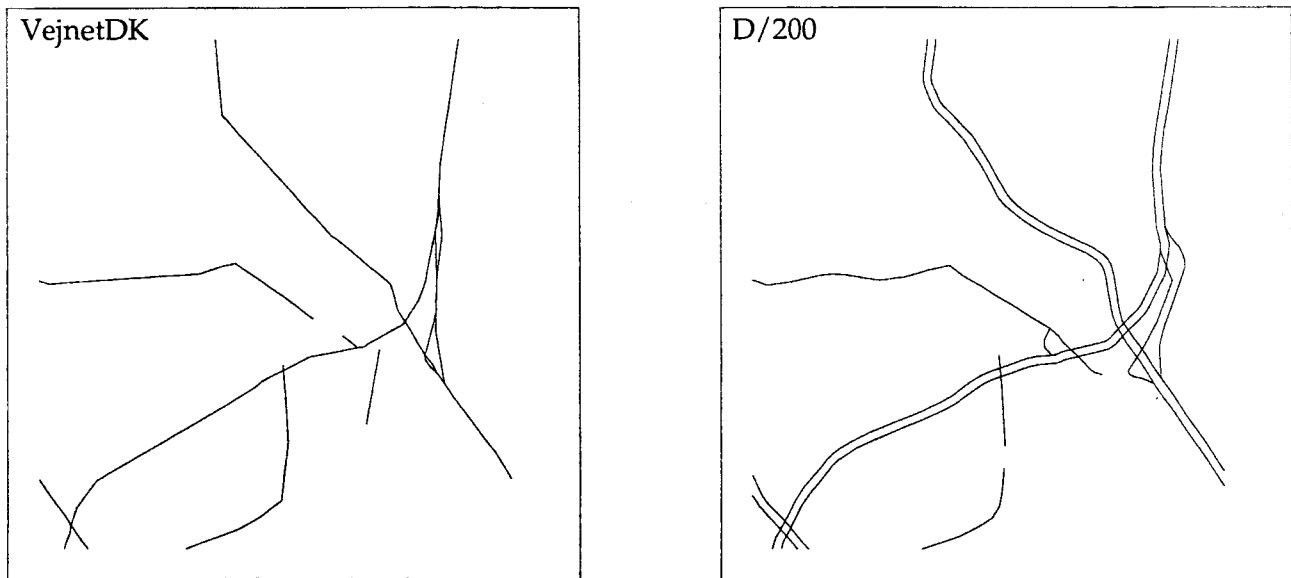
Det er valgt ikke at anvende VejnetDKs oplysninger om svingrestriktioner og knudemodstande i dette projekt. Valget er truffet ud fra den overvejelse, at det med den valgte detaljeringsgrad sandsynligvis ikke ville gøre anden forskel, end at gøre beregningerne tunge. For den del af VejnetDK som Vejdirektoratet har stået for, er der i nogen grad taget højde for knudemodstanden i hastighedsoplysningerne. Det er dog uklart hvor konsekvent dette er gennemført. [Vejdirektoratet (1996)]

Datakvalitet

Grundet det forhold, at VejnetDK ved udgivelsestidspunktet for version 2.0 (efterår 1995) stadig var et relativt nyt produkt og grundet

det forhold, at datasættet er sat sammen af flere forskellige dele, er der overført eller opstået en del fejl i datasættet, jf. nedenstående figur 3. Disse fejl omfatter, jf. kategoriseringen i Dansk Standard (1997), både beliggenhedsmæssige fejl (strækninger der er placeret forkert), topologiske fejl (strækninger der ikke hænger sammen) og tematiske fejl (strækninger der fx er tilordnet forkert vejklasse). Videre er der også fuldstændighedsmæssige fejl idet enkelte strækninger mangler medens andre figurerer dobbelt.

Der er i forbindelse med dette projekt bevidst truffet det valg, ikke at forsøge at rette op på disse fejl.



Figur 3: Sammenligning af de rutenummererede veje fra VejnetDK med Kort- og Matrikelstyrelsens D/200-kort for området omkring Jægersborg. Figuren viser en i VejnetDK manglende strækning, samt en strækning der er placeret forkert. Den manglende strækning i D/200-kortet er kartografisk betinget: Den repræsenterer en strækning under en jernbanebro. Bemærk VejnetDKs noget grovere struktur grundet det manglende tracé. Bemærk også, at motorvejsstrækningerne i VejnetDK kun er repræsenteret ved én strækning, hvorimod D/200-kortet viser begge retninger

2.2 Jernbanekort

Til projektet er endvidere anvendt et digitalt kort over Danmarks jernbaner. Kortet er jernbanetemaet fra Kort- og Matrikelstyrelsens digitale D/200-vektorkort.

D/200-kortet er fremstillet ved skanning og vektorisering af tema-separerede delplaner af topografisk kort over Danmark i 1:200.000. Geometrien i veldefinerede objekter i det digitale kort har en absolut beliggenhed bedre end 50 m. [Kort- og Matrikelstyrelsen (1996)]

Attributter

Kortet over jernbanerne fra D/200 omfatter kun linieføringen for jernbanespor og indeholder ingen såkaldte attributter, dvs. ingen oplysninger om antal spor, trafikering el., som det er tilfældet med VejnetDK. Kortet indeholder heller ikke oplysninger om stationers beliggenhed.



Figur 4: Jernbanetemaet fra Kort- og Matrikelstyrelsens D/200-kort

2.3 Destinationskort

Et andet centralt datasæt i projektet er det digitale kort over busstoppesteder og stationer, det såkaldte destinationskort. Datasættet er, fraregnet HT-området, fremstillet af Danmarks Miljøundersøgelser selv på baggrund af oplysninger fra trafiksekskabernes køreplandatabaser (se afsnit 2.5) og trykte køreplaner.

Det digitale kort over destinationerne er fremstillet ved digitalisering af destinationens placering i UTM Zone 32-koordinater med tilføjelse af et identifikationsnummer (det såkaldte destinationsnummer) tilhørende den pågældende destination. Af tekniske hensyn er destinationen digitaliseret i nærheden af en knude i VejnetDK på trods af, at der herved introduceres en systematisk fejl.

Subdatasæt

Datasættet består af flere dele, således at hvert trafiksekskab har sit eget subdatasæt, der geografisk godt kan strække sig ind i andre trafiksekskabers områder.

Destinationerne i HT-området er venligst stillet til rådighed for projektet af Hovedstadsområdets Trafiksekskab. Det fuldstændige datasæt for HT-området omfatter ca. 9.200 stoppesteder, heraf er en mindre del udvalgt til medtagelse i modellen.

Udvælgelseskriterier

Udvælgelsen af destinationer til medtagelse i modellen er foretaget ud fra følgende kriterier:

- Hver enkelt zone (jf. afsnit 2.4) skal om muligt have mindst en destination;
- Busstoppesteder hvor der kan foretages skift mellem linier medtages;

- Destinationer der repræsenterer stationer medtages;
- For destinationer, der tilhører en linie, der går fra et trafikselskabs område og ind i et andet, digitaliseres destinationerne for denne linie således at der lige akkurat skabes overlap mellem de to trafikselskaber.



Figur 5: Det digitale kort over destinationerne anvendt i projektet.

Omfang

Datasættet omfatter p.t. ca. 4.500 destinationer, men er under udvidelse. I tre amter (Århus, Ringkøbing og Fyn) er destinationerne for (visse) kommunale ruter ikke digitaliseret grundet manglende data.

Identifikationsproblemet

Der kan opstå det problem, at en og samme destination har flere forskellige destinationsnumre, enten fra et trafikselskab til et andet eller

indenfor det enkelte trafikskab. Problemet afspejler det, at man ikke kan identificere de øvrige destinationer beliggende samme sted udfra den enkelte destinations destinationsnummer. Problemet betegnes derfor identifikationsproblemet. Det er løst således:

Indenfor samme trafikskab

Der vælges et reference-destinationsnummer, fx det laveste. Destinationen digitaliseres med dette destinationsnummer, og alle andre destinationsnumre henføres hertil ved at anføre dem i en tabel, der siden hen anvendes som filter mellem oplysningerne i køreplandatabaserne (se afsnit 2.5) og det digitale kort, således at der kun henføres til den pågældende destination med ét nummer.

Fra et trafikskab til et andet

I de tilfælde hvor der refereres til en og samme destination i to forskellige trafikskaber digitaliseres destinationerne for begge trafikskaber i disses respektive sub-datasæt. Destinationerne digitaliseres så de ligger det samme sted rent geografisk. Ved opbygningen af modellen (se afsnit 3.1) refereres der derefter til destinationen ved dens geografiske position og ikke ved dens destinationsnummer.

Kvalitetssikring

Der er i mindre omfang korrigeret for fejl fundet i trafikskabernes køreplandatabaser i forbindelse med digitaliseringen. Der er gennemført en specifik kvalitetskontrol i forbindelse med digitaliseringen af destinationer, denne er beskrevet nærmere i afsnit 2.7.

2.4 Zonekort

For at kunne modellere hvor rejser kan starte og slutte, er der i overensstemmelse med nummereringen af zoner i TU-data (se afsnit 2.7) etableret et digitalt kort over zonerne til anvendelse i projektet. Zonekortet anvendes også til modellering af serviceniveauet i den kollektive trafik, jf. afsnit 3.3.

Datakilder

Data anvendt til opbygningen af dette datasæt stammer fra flere forskellige kilder:

1. Digitalt kort over bebygget område fra Kort- og Matrikelstyrelsens D/200-kort;
2. Analoge kort over planzoner modtaget fra 11 større bykommuner;
3. Digitalt kort over zonerne i hovedstadens trafikmodel.

Der er i alt 1.564 forskellige zoner omfattende samtlige byer i Danmark med et indbyggertal over 200. Zonestrukturen er vist på nedenstående figur 6 og er sat sammen som følger:

Hovedstadsområdet

Zonestrukturen for hovedstadsområdet består af et aggregeret udvalg af zoner fra hovedstadens trafikmodel (HTM). Zonerne er aggregeret fra 279 oprindelige zoner fra HTM til 91 zoner i den til projektet anvendte zonestruktur.

Området i hvilket zonestrukturen fra hovedstadens trafikmodel er anvendt afgrænses af byerne Helsingør (ekskl.), Hillerød (ekskl.), Farum (inkl.), Roskilde (ekskl.) og Køge (ekskl.). For nærmere beskrivelse af zonerne fra hovedstadens trafikmodel henvises til HTM (1996abc).



Figur 6: Den i projektet anvendte zoneinddeling.

Større byer

For 11 større byer i landet (Aalborg, Randers, Århus, Horsens, Vejle, Esbjerg, Kolding, Odense, Næstved, Roskilde og Helsingør) er den anvendte zonestruktur opbygget på baggrund af analoge kort over planzoner modtaget fra de pågældende kommuner. Disse kort er sammenholdt med forskellige temaer fra Kort- og Matrikelstyrelsens D/200-kort, efter hvilket grænserne fra planzonekortene er digitaliseret. Nedenstående tabel 1 viser hvor mange zoner byerne er inddelt i.

Øvrige byer

Zonestrukturen for de øvrige byer i landet er opbygget på baggrund af temaet *bebyggelse* fra Kort- og Matrikelstyrelsens D/200-kort. Temaet *hul i bebyggelse* er ikke anvendt, ligesom at bydele der ligger geografisk adskilt fra hinanden men tilhører den samme by (som det fx er tilfældet med Stege og Korsør) af praktiske årsager er forbundet, således at de udgør én sammenhængende polygon.

Kvalitetssikring

Ligesom for destinationskortet er der gennemført en specifik kvalitetskontrol i forbindelse med digitaliseringen af zonerne, denne er beskrevet nærmere i afsnit 2.7.

Tabel 1: Antal zoner i den anvendte zonestruktur fordelt på byer.

Område (by)	Antal zoner
Hovedstadsområdet	91
Aalborg	13
Randers	8
Århus	14
Horsens	8
Vejle	8
Esbjerg	8
Kolding	9
Odense	17
Næstved	8
Roskilde	7
Helsingør	8
Øvrige byer	1.365
Total	1.564

2.5 Køreplandata

Oplysninger om forbindelser i den kollektive trafik til brug i projektet hidrører fra data fra de forskellige trafiksekskabers køreplandatabaser. Disse data er modtaget i forskellige formater, jf. nedenstående tabel 2.

Køreplandata modtaget fra selskaberne er anvendt til digitaliseringen af stoppesteder jf. afsnit 2.3 og anvendes til opbygningen af modellen for det kollektive transportnet jf. afsnit 3.1.

Køreplanperioder

Der er indsamlet data for køreplanperioden 95/96 for 14 trafiksekskaber. I Vejle Amts Trafiksekskab blev det aktuelle database-system først indført i 1996, hvorfor den første køreplan fremstillet under anvendelse af systemet er 96/97-køreplanen. Denne køreplan er således anvendt i projektet, selvom den ikke gælder for den samme periode som de øvrige sekskabers køreplaner. Det forhold samme gør sig gældende for hovedstadsområdets trafiksekskab.

De indsamlede køreplandata er af ret omfangsrig karakter og fylder i alt ca. 150 MB.

Datakvalitet

Ved en nærmere undersøgelse af de modtagne datasæt har det vist sig, at datasættene udviser forholdsvis uensartet struktur, kvalitet og detaljeringsgrad selv indenfor samme databasesystem. Dette har naturligvis medført visse problemer ved anvendelsen af data.

Fx indeholder nogle af databaserne jernbaneforbindelserne i det pågældende amt, medens andre ikke indeholder disse forbindelser. I stort set alle databaser forekommer der tilfælde, hvor to forskellige destinationsnumre henviser til den samme destination. Værre endnu

forekommer der også tilfælde hvor det samme destinationsnummer henviser til to forskellige destinationer.

I det følgende gennemgås forskellige forhold karakteristiske for de to databasesystemer hvorfra der p.t. er anvendt data til opbygningen af modellen.

2.5.1 Data fra trafikselskaber der anvender TR-System

Det såkaldte *TR-System* er det køreplandatabasesystem, der anvendes af de fleste trafikselskaber i Danmark. Systemet anvendes således i 11 ud af 19 trafikselskaber. Systemet er fremstillet af firmaet TR-Partner A/S og er en videreudvikling af et tidligere system som trafikselskaberne har anvendt. Systemet kaldtes tidligere *System 94* og består af en række moduler til forskellig brug indenfor drift af et trafikselskab. Det modul, der er interessant i forbindelse med dette projekt er det såkaldte *TR-Bus* der anvendes til køreplanlægning, vognplanlægning og produktion af køreplaner. [TR-Partner (1998)]

Tabel 2: Egenskaber ved data modtaget fra trafikselskaberne og DSB.

Trafikselskab	Data modtaget i formatet	Antal forskellige destinationsnumre
Aalborg Omnibusselskab	KPS (Eget)	1.188
Bornholms Amts Trafikselskab (BAT)	-	-
DSB	Journey Planner	491
Fyns Amt, Regionalruter	TR-System	446
Fyns Amt, Kommunalruter	-	-
Hovedstadsområdets Trafikselskab (HT)	Journey Planner	9.179
Nordjyllands Trafikselskab (NT)	TR-System	1.692
Odense Bytrafik	Eget	524
Ribe Amts Trafikselskab (RAT)	TR-System	1.116
Storstrøms Amts Trafikselskab (STS)	TR-System	1.798
Sydbus, Sønderjyllands Amt	TR-System	1.230
Ringkøbing Amt, Regionalruter	TR-System	719
Ringkøbing Amt, Kommunalruter	-	-
Viborg Amts Fælleskommunale Trafikselskab (VAFT)	TR-System	1.244
Vejle Amts Trafikselskab (VAT)	TR-System	1.689
Vestsjællands Trafikselskab (VT)	TR-System	1.069
Århus Amt, Randers Bustrafik	TR-System	519
Århus Amt, Regionalruter	TR-System	1.028
Århus Sporveje	Eget	3.290
Total	-	27.222

Herudover er der 13 øvrige moduler i TR-System, bl.a. til tjenesteplanlægning, turnus- og vagtplanlægning, produktion af holdepladstavler, udførelse af statistiske opgørelser etc. Systemet omfatter også et modul hvorfra der kan eksporteres direkte til *Journey Planner*-formatet (jf. afsnit 2.5.2). [TR-Partner (1998)]

Databasedelen af TR-System er implementeret i det relationelle databasesystem Oracle. Danmarks Miljøundersøgelser har fra de respektive trafiksselskaber modtaget en såkaldt eksportfil fra databasesystemet med relevante data. Eksportfilen indeholder en række tabeller, der kan kombineres med hinanden til fremstilling af detaljerede køreplandata. Eksempler på disse tabeller ses af nedenstående figur 7.

KPLNR	TURTYPE	PERIODEKODE	LBNR	DESTNR	KOERETID
1	2	95007	1	8510002	0
1	2	95007	2	8511020	8
1	2	95007	3	8511105	2
1	2	95007	4	8510011	3
1	2	95007	5	8512007	1
1	2				3

KPLNR	TURTYPE	PERIODEKODE	AFGTID
1	1	94007	190
1	2	95007	60
1	2	95007	210
1	4	95001	420

PERIODEKODE	FRADATO	TILDATO
95006	95-10-23	95-12-21
95007	95-08-18	95-11-19
95007	95-05-29	95-06-18
95007	96-01-05	96-06-01

DESTNR	DESTNAVN
8510002	Nytorv
8511020	Hassersis
8511105	Letvadvej
8510011	Skalborg v/Bilka
8512007	Drastrup
8511002	Frejlev

KPLNR	PERIODEKODE	RUTEID	OVERSKRIFT
1	95007	1 N	Natbus Aalborg - Nibe
6	95007	6 N	Natbus Aalborg - Hjallerup
11	94001	11	Aalborg - Støvring - Aalestrup
20	94002	20E	Ekspresbus Aalborg - Båndbyerne

Figur 7: Eksempler på tabeller modtaget fra et trafiksselskab i TR-System-format (forenklet).

Datastruktur

Disse køreplandata kan trækkes ud af tre hovedtabeller, hvis struktur er som følger:

Den første tabel (øverst på figur 7) indeholder oplysninger om klasser af afgang, de såkaldte turtyper. Afgange tilhørende en bestemt klasse, er karakteriseret derved, at afgangene har det samme rumlige og tidsmæssige forløb. To busafgange, der tilhører den samme klasse, standser således ved de samme stoppesteder og har den samme køretid mellem stoppestederne.

Den anden tabel indeholder den absolutte afgangstid fra det første stoppested for hver afgang, med angivelse af hvilken klasse af afgang (hvilken turtype) der er tale om. Afgangstiderne for de øvrige stoppesteder på denne afgang (dette vognløb) kan således beregnes ud fra oplysningerne fra den første tabel.

Den tredje tabel indeholder oplysninger om gyldighedsperioderne for afgangene fra de to øvrige tabeller.

Herudover kan der fra yderligere tabeller (nederst på figur 7) kobles oplysninger om stoppestednavne, linienumre og beskrivelser af ruteforløb mv. til oplysningerne fra de omtalte tre tabeller.

2.5.2 Data fra trafiksselskaber der anvender *Journey Planner*

Til projektet er også modtaget data i firmaet CVI EDS's *Journey Planner*-format. Formatet repræsenterer ikke en egentlig køreplan-database, men er et udvekslingsformat, der anvendes til opbygning af en rejseplanlægger. Rejseplanlæggeren kendes fra DSBs elektroniske køreplan på diskette.

Foruden DSB anvendes systemet p.t. af HT til internt brug, ligesom Nordjyllands trafiksselskab i øjeblikket gennemfører forsøg med systemet. Det er meningen at systemet skal anvendes til opbygningen af en fremtidig rejseplanlægger for hele Danmark. [Trafiksselskaberne, DSB, Amtsrådsforeningen (1996)]

Datastruktur

Formatet består af en række flade ASCII-filer, hvoraf en del er obligatoriske for systemets funktion, medens andre er fakultative. Enkelte af filerne er af tabellarisk karakter, medens andre er en slags hybrider af flere tabeller med relation til hinanden. Et eksempel på en sådan hybridfil ses af nedenstående figur 8.

```
@086,24091995,01061996,0001,K95/96 Vinterkøreplan
#00000001
%086,00001, ,000,999,
-00006,000,999
&0005,000,999
>8601013,0703
.8601014,0707
.8601053,0709
.8601025,0716
.8601037,0719
+8600905,0724,0726
.8600904,0728
.8600903,0730
.8600902,0734
.8600901,0736
<8600803,0742
#00000002
%086,00002, ,000,999,
-00004,000,999
&0005,000,999
>8600803,0602
+8600905,0614,0616
.8601037,0617
.8601025,0624
.8601053,0629
.8601014,0633
<8601013,0637
```

Figur 8: Eksempel på en fil fra *Journey Planner*-formatet, her et udsnit af den centrale køreplansfil. Filen indeholder oplysninger om køreplanens gyldighed (mærket @), den enkelte afgangs gyldighed (mærket -), den enkelte afgangs tog- eller busnummer (mærket %), hvilken slags afgang der er tale om (mærket &), samt hvilke stop afgangens betjener og hvornår (markeret med > + og <).

Indlæsning i relationel database

På baggrund af beskrivelsen af filformatet i Heerwaarden (1994) er der til brug i projektet opbygget en relationel database, i hvilken oplysningerne fra filerne er indlæst. Eksempler på tabeller fra databasen er vist på nedenstående figur 9.

Den opbyggede relationelle database til brug ved behandlingen af data modtaget i *Journey Planner*-formatet adskiller sig fra den tilsvarende TR-System-database derved, at den er mindre aggregeret. Der skelnes således hverken mellem klasser af afgang (de såkaldte tur-

typer) eller gyldighedsperioder, idet der refereres direkte til den enkelte afgang og om den kører den enkelte dag eller ej. Sidstnævnte bestemmes ud fra en *off set*-tabel (nederst til venstre på figur 9), der på baggrund af køreplanens første gyldighedsdag angiver om en bestemt oplysning gælder en bestemt efterfølgende dag (markeret ved et 1-tal) eller ikke (markeret med et 0).

TransportModeCode	Description	SerialNo	StopNo	ShortName	Arrival	Departure
0001	InterCity					
0002	Lyntog					
0004	Regionaltog	147	1	8600001	9999	440
0005	Privatbane	147	2	8600007	501	501
0006	S-tog	147	3	8600009	511	512
0007	InterRegional	147	4	8600013	520	521
0008	Nattog	147	5	8600015	528	529
		147	6	8600020	547	551
		147	7	8600027	606	607

VectorNo	Vector	ShortName	CountryCode	StationName
1	0111110011111100111100111110			
2	1000000100000010000001000000			
3	0111110011111100111110011	8600001	0086	Frederikshavn
4	0111110011111100111110011	8600005	0086	Kvissel
5	100000010000001000000100	8600006	0086	Tolne
		8600007	0086	Sindal
		8600009	0086	Hjørring

Figur 9: Et udvalg af tabeller fra den relationelle database opbygget på baggrund af data modtaget fra DSBs vinterkøreplan 1996 i CVI EDS's *Journey Planner*-format (forenklet).

2.6 Registerdata

Til projektet er indkøbt forskellige registerdatasæt fra Danmarks Statistik. Disse data anvendes til generering af de såkaldte attraktionsdata, jf. afsnit 3.3. Data omfatter bl.a. oplysninger om arbejdspladser fordelt på branche, om boliger fordelt på boligtype, og om alderssammensætning og beskæftigelse af befolkningen.

Nøgle

Der er etableret en nøgle til data i overensstemmelse med den til projektet anvendte zoneinddeling jf. afsnit 2.4, hvorved der kan gennemføres forskellige, geografiske udtræk.

2.7 Data fra transportvaneundersøgelsen

Som inddata til modellen anvendes rejsedata fra Danmarks Statistiks transportvaneundersøgelse, de såkaldte TU-data. Den del af datasættet der anvendes i projektet omfatter ca. 30.000 interviews med tilfældigt udvalgte personer om deres rejsevaner og økonomiske forhold mv.

Indhold

Transportvaneundersøgelsens interviews er foretaget pr. telefon. I interviewet spørges der til de rejser som personen har foretaget dagen inden interviewet samt til en række forhold om personen og dennes husstand.

Om personens rejser dagen inden interviewet spørges bl.a. om rejsestart og rejsemål på zoneniveau, hvor lang tid rejsen har taget, i hvilken time indenfor dagen rejsen har fundet sted og hvilke transportmidler der er benyttet.

Omfang

Den del af datasættet der anvendes i projektet omfatter data for ca. 85.000 rejser hidrørende fra perioden fra oktober 1994 til december 1996. Transportvaneundersøgelsen er dog en løbende undersøgelse, der hvert år forøges med godt 40.000 nye rejser.

Det samlede datasæt fra transportvaneundersøgelsen er meget omfangsrigt og fylder således p.t. flere hundrede MB. Fra det samlede datasæt udtrækkes de data der skal anvendes som inddata til modellen. Herefter omregnes dato og tid til et udtryk for starttiden opgjort i minutter efter mandag kl. 0.00, således at der kan skelnes mellem modellens forskellige dagtyper, jf. afsnit 3.1.1. Nedenstående figur 10 illustrerer udseendet af inddatafilen til modellen.

Inddata til modellen

Inddatafilen til modellen indeholder foruden et løbenummer oplysninger om fra- og tilzone samt starttid for den enkelte rejse.

RejseNr	FraDMUZoneNr	TilDMUZoneNr	StartTid
1	1656400	1660000	420
2	1656400	1660000	450
3	1656600	1659000	780
4	1656600	1659000	795
5	1656600	1659000	810
6	1656600	1659000	825
7	1657200	1660000	1260

Figur 10: Eksempel på en inddatafil for rejser fra TU-data til modellen. Starttid er opgjort i minutter efter mandag kl. 0.00. Starttid 420 betyder således mandag morgen kl. 7.00.

2.8 Kvalitetssikring og datakvalitet

De datasæt, som tilvejebringes ved digitalisering af Danmarks Miljøundersøgelser selv, er underkastet et særligt program for kvalitetssikring. Kvalitetssikringen har til formål at minimere antallet af fejl i datasættene og samtidig sørge for en ensartet kvalitet for datasættenes enkelte bestanddele.

Kvalitetssikringen består dels i, at proceduren for fremstillingen af datasættene (dvs. digitalisering) specifikt er defineret, dels i, at de digitaliserede datasæt underkastes en efterfølgende kontrol. Førstnævnte skal sikre en rimelig ensartethed i den subjektive bedømmelse ved digitaliseringen af det enkelte objekt, sidstnævnte kontrol af datasættene er derimod gennemført vha. automatiske kontrolrutiner og er således helt objektiv.

De automatiske kontrolrutiner omfatter også en registrering af de forskellige problemer, der er antruffet under arbejdet og hvordan de enkelte problemer er løst.

Dansk Standard (1997) opstiller følgende kvalitetsparametre for geografiske datasæt:

1. Beliggenhedsmæssig nøjagtighed
2. Tematisk nøjagtighed
3. Tidsmæssig nøjagtighed
4. Fuldstændighed
5. Logisk konsistens
6. Tilblivelse

I det følgende gennemgås de specifikke forhold i den anvendte kvalitetssikring i projektet i henhold til disse parametre og i henhold til øvrige specifikt til projektet anvendte parametre.

2.8.1 Beliggenhedsmæssig nøjagtighed

Begrebet nøjagtighed defineres i Dansk Standard (1997) som "en observations nærhed til sin sande værdi, eller værdier som anses være sande". Ved beliggenhedsmæssig nøjagtighed forstås således hvor nøjagtig det enkelte objekts position og udstrækning er i forhold til "virkeligheden".

Det digitale kort over destinationer er jf. afsnit 2.3 digitaliseret i forhold til VejnetDK og D/200. Af tekniske hensyn er det enkelte busstoppested videre digitaliseret således, at det optræder i nærheden af en knude i VejnetDK. Herved introduceres to fejl: For det første repræsenterer VejnetDK ikke "sande" værdier, for det andet placeres et givet stoppested ikke præcist dér hvor det må formodes at ligge i forhold til VejnetDK. Det vurderes dog, at fejlen opstået herved ikke overstiger 500 m. Denne nøjagtighed kan anses for værende tilstrækkelig til brug i projektet.

For stationer anses den beliggenhedsmæssige nøjagtighed at være noget bedre, idet stationerne er digitaliseret i forhold til D/200-kortet og er placeret der, hvor de må formodes at ligge. Stationernes beliggenhed anses således kun at have en fejl på højst 100 m.

Det digitale kort over zonerne er jf. afsnit 2.4 opbygget på baggrund af D/200-kortet og analoge byplankort. Den beliggenhedsmæssige nøjagtighed anses være bedre end 100 m.

Der er dog ikke gennemført specifikke undersøgelser af den beliggenhedsmæssige datakvalitet for den del af datasættet der er fremstillet af Danmarks Miljøundersøgelser selv.

2.8.2 Tematisk nøjagtighed

Ved digitaliseringen af et tematisk kort, kan et objekt ved en fejl tilordnes en forkert værdi. Fejl af denne art betragtes som fejlklassificeringer og betegnes tematiske fejl. Der er i kvalitetssikringen gennemført forskellige tiltag for at minimere antallet af disse fejl. Således er de enkelte temaer i videst muligt omfang forsøgt digitaliseret hver for sig. Ikke alene er stoppesteder og stationer digitaliseret hver for sig, de enkelte stoppesteder er ligeledes digitaliseret i separate datasæt for hvert enkelt trafikselskab.

Destinationskortet

For de destinationer, der tilhører trafikselskaber, som anvender køreplandatabasesystemet TR-System, jf. tabel 2, side 19, er det videre kontrolleret, at destinationerne efter destinationsnummeret at dømmes ikke er beliggende i en forkert kommune. Dette er gjort ved at sammenligne de tre første cifre i destinationsnummeret med kommunekoden fra den kommune i KMS's AKS-datasæt, som destinationen er beliggende i. AKS er betegnelsen for et digitalt kort over amter, kommuner og sogne, som Kort- og Matrikelstyrelsen udgiver.

Zonekortet

Der er - både for det digitale kort over destinationerne og for kortet over zonerne - gennemført yderligere kontrol af den tematiske nøjagtighed vha. tests for logisk konsistens, jf. afsnit 2.8.5. Der er dog ikke opstillet nogen indikator for den tematiske nøjagtighed for de kontrollerede datasæt.

2.8.3 Tidsmæssig nøjagtighed

Begrebet tidsmæssig nøjagtighed dækker over i hvor høj grad et datasæt tager højde for den tidsmæssige variation i de "sande" data. Indikatorer for den tidsmæssige nøjagtighed er således i følge Dansk Standard (1997) opdatering, forandringshastighed, aktualitet og evt. differens mellem forandring og opdatering.

Generelt repræsenterer både destinations- og zonekortene datasæt med en relativt lav forandringshastighed, i hvert fald på regionalt niveau.

Destinationskortet

Hvad angår det digitale destinationskort, anses dette at have høj tidsmæssig nøjagtighed. Dette er sikret ved, at datasættenes enkelte bestanddele er opbygget i forhold til de datasæt de referer til og dermed implicit den tid disse datasæt repræsenterer. Datasættene er ganske vist ikke opdateret i den forstand, at de repræsenterer verden som den ser ud i dag, men de indeholder ingen anakronismer.

De automatiske kontrolrutiner er indrettet således, at der relativt let kan tages højde for ændringer i antal eller placering af destinationer ved opbygningen af modellen for nyere køreplaner.

Zonekortet

Hvad angår det digitale zonekort, repræsenterer dette en struktur som kun langsomt ændres. Der vil ved sammenligning af en kommende version af D/200-kortet over bebygget areal ligeledes let kunne tages højde for tidsmæssige ændringer.

Der er herudover ikke opstillet nogen egentlig indikator for den tidsmæssige nøjagtighed for de kontrollerede datasæt.

2.8.4 Fuldstændighed

Dansk Standard (1997) definerer begrebet fuldstændighed som graden af overensstemmelse mellem et geografisk datasæt og dets nominelle virkelighed ud fra tilstedeværelsen af objekter.

Destinationskortet

Det digitale destinationskort er tilvejebragt efter kriterier beskrevet i afsnit 2.3.

Af nedenstående tabel 3 ses et procentuelt udtryk for fuldstændigheden af de enkelte bestanddele af det digitale destinationskort. Som det ses af tabellen, udviser andelen af behandlede destinationer stor variation mellem trafikselskaberne.

Denne variation skyldes flere forhold. For det første er der forskel på det omfang med hvilket de enkelte trafikselskaber har registreret alle stoppestederne i databasen. For det andet repræsenterer de forskellige trafikselskaber forskellige landsdele med deraf følgende forskellig urbaniseringsgrad og zonestruktur, jf. afsnit 2.4.

Tabel 3: Egenskaber ved det digitale destinationskort fordelt på kortets enkelte bestanddele, datasættene for de enkelte trafikselskaber. 'Reelt antal destinationer' er et udtryk for det antal destinationer i det enkelte trafikselskab der har reel forskellig beliggenhed.

Trafikselskab	Data modtaget i formatet	Reelt antal destinationer	Andel inddaterede destinationer p.t.
Aalborg Omnibusselskab	KPS (Eget)	422	8%
Bornholms Amts Trafikselskab (BAT)	-	-	-
DSB	Journey Planner	481	80%
Fyns Amt, Regionalruter	TR-System	446	55%
Fyns Amt, Kommunalruter	-	-	-
Hovedstadsområdets Trafikselskab (HT)	Journey Planner	4.520	23%
Nordjyllands Trafikselskab (NT)	TR-System	1.644	19%
Odense Bytrafik	Eget	524	20%
Ribe Amts Trafikselskab (RAT)	TR-System	1.085	26%
Storstrøms Amts Trafikselskab (STS)	TR-System	1.457	12%
Sydbus, Sønderjyllands Amt	TR-System	1.098	48%
Ringkøbing Amt, Regionalruter	TR-System	661	35%
Ringkøbing Amt, Kommunalruter	-	-	-
Viborg Amts Fælleskommunale Trafikselskab (VAFT)	TR-System	1.190	24%
Vejle Amts Trafikselskab (VAT)	TR-System	1.530	23%
Vestsjællands Trafikselskab (VT)	TR-System	1.049	20%
Århus Amt, Randers Bustrafik	TR-System	519	11%
Århus Amt, Regionalruter	TR-System	829	37%
Århus Sporveje	Eget	180	80%
Total	-	17.638	27%

De automatiske kontrolrutiner tager dog højde for, at kriterierne efter hvilket destinationerne er digitaliseret jf. afsnit 2.3 konsekvent er overholdt. Destinationskortets enkelte bestanddele tilhørende de forskellige trafikselskaber udviser derfor på trods af forskelligheden i andelen af inddaterede destinationer alligevel en ensartet fuldstændighed. Totalt set er ca. 27% af alle destinationer inddateret.

Som det også fremgår ved sammenligning af tabel 2, side 19 med ovenstående tabel 3, er der ligeledes stor forskel på hvorledes destinationerne optræder i de enkelte dataformater. I Århus Sporvejes databasesystem optræder det samme stoppested med mange forskel-

lige identifikationsnumre, eftersom at stoppestedet har et separat nummer for hver buslinie der standser ved det og et for hver retning buslinien kører. Noget lignende gælder for HT. Dette medfører, som det ses ved sammenligning med tabel 2, et meget stort antal forskellige destinationsnumre i forhold til det "reelle" antal destinationer.

Zonekortet

Det digitale zonekort er kontrolleret i forhold til tabeller modtaget fra Danmarks Statistik. Fuldstændigheden af det digitale zonekort i forhold til disse tabeller er sikret vha. forskellige tests. Tabellerne anses have en høj grad af fuldstændighed i forhold til "virkeligheden".

2.8.5 Logisk konsistens

Begrebet logisk konsistens defineres i følge Dansk Standard (1997) som graden af overensstemmelse mellem et datasæt og dets nominelle virkelighed baseret på vilkår defineret i datasættets skema. Begrebet skema anvendes her i databasemæssig forstand, dvs. om en databases struktur og referentielle forhold. De vilkår som kan defineres i skemaet kan berøre datasættets værdier, fx om værdierne holder sig indenfor de definerede grænser (domænekonsistens). Vilkårene kan også omfatte relationer mellem forskellige datasæt (referentiel konsistens) eller datasættets rumlige relationer (topologisk konsistens). [Östman (1997)]

Domænekonsistens og referentiel konsistens

I de automatiske kontrolrutiner anvendt til kvalitetssikring i projektet er der gennemført tests både for domænekonsistens og referentiel konsistens både for destinationskortet og zonekortet. Det er således kontrolleret, at der ikke forekommer identifikationsnumre i de digitaliserede datasæt som ikke forekommer i de tabeller disse identifikationsnumre refererer til. Det er ligeledes kontrolleret, at der ikke forefindes dubletter i datasættene, dvs. forskellige objekter med ens identifikationsnumre.

Topologisk konsistens

Endvidere er der gennemført tests for topologisk konsistens for destinationskortet. Der er således testet for topologiske relationer mellem stoppesteder og stationer og stoppesteder imellem. For zonekortet er det ligeledes kontrolleret, at alle polygoner er lukkede og har et identifikationsnummer tilordnet.

2.8.6 Tilblivelse

Ved begrebet tilblivelse som element i en kvalitetssikring forstås oplysninger om et datasæts opståen, fx produktionsdato og organisering af produktionen. [Dansk Standard (1997)]

Definition af fremstillingsprocedurer

En del af kvalitetssikringsprogrammet i dette projekt har bestået i at definere procedurerne for fremstillingen af datasættene. Dette har skullet sikre, at de - nødvendigvis - subjektive beslutninger man i løbet af produktionsprocessen har måttet tage, har kunnet tages på et ligeligt grundlag. Definitionen af disse procedurer har således omfattet retningslinier for hvorledes datasættene har skullet opbygges i henhold til den modelstruktur de skal anvendes i. Endvidere er der fastlagt procedurer for, hvad man skal gøre i tvivlstilfælde.

2.8.7 Øvrige kvalitetsparametre

Som følge af modelstrukturen har det videre været nødvendigt at kontrollere de anvendte datasæt for fejl, der ikke kan kategoriseres i de seks kategorier nævnt på side 24.

Identifikationsproblemet

For at kunne løse identifikationsproblemet beskrevet på side 15, har det været nødvendigt at foretage en registrering af de destinationsnumre, der er forskellige, men som henfører til den samme, fysiske destination. I forbindelse med denne registrering kan der opstå forskellige fejl.

Der er i de automatiske kontrolrutiner gennemført tests for, at alle destinationer, der har det samme navn men forskellige destinationsnumre er registreret som før anført, såfremt de repræsenterer den samme fysiske destination, og at de *ikke* er registreret, såfremt de *ikke* repræsenterer den samme fysiske destination.

Der er videre gennemført tests for, at der under anvendelse af før-omtalte registrering refereres til *et* og *kun et* fysisk stoppested for alle destinationsnumre i det pågældende trafikskabs køreplandata. Der er yderligere gennemført forskellige tests for referentiel konsistens i lighed med de tests, der er beskrevet i afsnit 2.8.5.

Geografisk overlap

Endelig er det kontrolleret, at der er etableret fornødent, geografisk overlap mellem de enkelte trafikskabs destinationer, således at det rutenet som opbygges for de enkelte trafikskaber kan sættes sammen til en landsdækkende model.

3 Metoder

Den opstillede model for transportsystemet består, jf. figur 1, side 10, af tre forskellige dele: En model for det kollektive transportsystem (nederst), en model for transportsystemet for bilrejsers (i midten) og en model til beregning af serviceniveauet i den kollektive trafik (øverst). Disse tre dele af modellen behandles i de følgende afsnit 3.1 til 3.3. Sidst i kapitlet er en gennemgang af det til gennemførelsen af projektet anvendte programmel og den samlede models uddata.

3.1 Submodeller for det kollektive transportsystem

Modellen for det kollektive transportsystem består jf. figur 1, side 10, af tre submodeller: 1) En såkaldt køreplandatabasefortolker, der omsætter data modtaget fra trafikskaberne til en brugbar form; 2) En datamodel hvori disse data er struktureret og gjort anvendelige til beregning; 3) En model til beregning af rejsetider for rejsers i det kollektive net repræsenteret ved datamodellen. Disse dele beskrives i det følgende.

3.1.1 Køreplandatabasefortolkere

I sin oprindelige form egner data modtaget fra de enkelte trafikskaber sig ikke til beregning af rejsetider. Det er derfor nødvendigt at omsætte de modtagne data således, at de kan anvendes til dette formål. Denne omsætning foregår vha. de såkaldte køreplandatabasefortolkere. Køreplandatabasefortolkerne tjener også det formål, at oversætte data fra de forskellige typer af formater, data er modtaget i, til datasæt af samme format, der kan sættes sammen til en samlet model. Der anvendes således en type fortolker til hver type format, som køreplandata er modtaget i.

Til brug i dette projekt er der skrevet fortolkere til brug for data modtaget i formaterne TR-System og *Journey Planner*, jf. afsnit 2.5.

Udgangspunktet for hver af køreplandatabasefortolkerne er et *interface* til datamodellen. Dette *interface* er repræsenteret ved en række filer der indeholder køreplandata i en sådan form, at de kan anvendes til opbygningen af datamodellen. Disse filer indeholder oplysninger om de enkelte, såkaldte fartøjsløb.

Fartøjsløb

Et fartøjsløb er defineret som en fysisk tur med bus, tog eller færge fra en udgangsdestination til en endestation, evt. med stop ved mellemstationer.

Filerne der repræsenterer det omtalte *interface* indeholder således oplysninger om hvilke destinationer der betjenes af et bestemt fartøjsløb, samt hvornår fartøjet holder ved disse destinationer for optagelse eller afsættelse af passagerer.

Udvælgelse af forbindelser

Køreplandatabasefortolkerne anvendes ligeledes til fastsættelse af, hvilke forbindelser der skal medtages i datamodellen. Idet der ønskes

en generel, repræsentativ model for det kollektive transportsystem er de forbindelser, der skal indgå i datamodellen bl.a. udvalgt efter kriterier vedr. skolernes ferier. Denne udvælgelsesprocedure har til formål primært at medtage forbindelser der er attraktive for de 16- til 74-årige, som er den del af befolkningen transportvaneundersøgelsen behandler.

Ugedage

Modellen opbygges til at kunne skelne mellem hverdage, lørdage og søndage. Denne skelnen foretages i fortolkeren, der således udvælger tre sæt af forbindelser, repræsenterende hhv. hverdage, lørdage og søndage.

Som det også ses af figur 1, side 10, anvender køreplandatabasefortolkerne også oplysninger fra destinationskortet til opbygning af data til anvendelse i datamodellen. Oplysningerne fra destinationskortet er nødvendige, idet køreplandatabaserne indeholder informationer om langt flere destinationer end der er inddateret. Køreplandata fra køreplandatabasen aggregeres således af fortolkeren til et til destinationskortet svarende niveau.

Omregning til absolutte tider

Som beskrevet i afsnit 2.5.1 anvender køreplandatabasesystemet TR-System en kombination af to tabeller til lagring af afgangstiderne tilhørende de enkelte fartøjsløb. Tidsrepræsentationen i den ene tabel er absolut; fartøjsløbet (turen) starter fx kl. 7:34 ved den første destination på ruten. Tidsrepræsentationen i den anden tabel er derimod relativ; det tager fx 6 minutter at køre til den næste destination. Projektets datamodel, jf. næste afsnit 3.1.2, anvender dog udelukkende en absolut tidsrepræsentation. Køreplandatabasefortolkeren for TR-System anvendes derfor til at omregne de relative tider til absolutte tider.

SegmentNr	DestNr
1	3119200
1	3130393
2	3130393
2	3134700
3	3134700
3	3134701
4	3134701
4	3150251
5	3150251
5	3151000
6	3119200
6	3130393
7	3130393
7	3134700

SegmentNr	FTLoeb	FTType	Afgang	Ankomst
1	116	300	454	460
2	116	300	460	463
3	116	300	465	470
4	116	300	470	481
5	116	300	481	489
6	216	300	514	520
7	216	300	520	523
8	216	300	525	530
9	216	300	530	541
10	216	300	541	549
11	316	300	574	580
12	316	300	580	583

Figur 11: Eksempel på uddatafiler fra en køreplandatabasefortolker. Tabellen til venstre indeholder oplysninger om fra- og tildestination for hvert segment, dvs. hvert stykke af et fartøjsløb mellem to på hinanden følgende destinationer. Tabellen til højre indeholder forskellige oplysninger om segmenterne: Hvilket fartøjsløb de tilhører (FTLoeb), hvilken type fartøj der er tale om (FTType) samt afgang- og ankomsttider for den pågældende forbindelse.

Omregningen mellem relative og absolutte tider er ikke nødvendig for fortolkeren til *Journey Planner*-formatet, idet dette format i forvejen anvender absolutte tider.

Identifikationsproblemet

Køreplandatabasefortolkerne styrer også filtreringen af destinationsnumre, således at der henvises til en og samme, digitaliserede destination, selv om denne destination har flere forskellige destinationsnumre i databasen, jf. afsnit 2.3.

Ovenstående figur 11 viser et eksempel på uddatafiler fra en køreplandatabasefortolker.

3.1.2 Datamodel for det kollektive transportsystem

Det at modellere bevægelsen af køretøjer og passagerer i tid og rum for den kollektive trafik er generelt et vanskeligt problem.

Konventionelle modeller

I konventionelle modeller for kollektiv trafik er en buslinie mellem stoppesteder typisk repræsenteret ved en enkelt stækning (kant). Til denne strækning er der knyttet oplysninger om den tid, det tager at køre mellem stoppestederne og den frekvens hvormed den pågældende linie betjenes. Frekvensen anvendes til at modellere vente- og skiftetider. [Ortúzar et al. (1994)]

På basis af disse oplysninger kan der imidlertid kun beregnes et udtryk for den *gennemsnitlige* vente- og skiftetid, ligesom der ikke kan tages højde for variationer af frekvensen over tid. En sådan model dækker derfor typisk kun myldretiden eller hele døgnet og tager ikke højde for korrespondance eller uregelmæssige afgangsfrekvenser ved beregningen af den gennemsnitlige ventetid.

Projektets datamodel

Vil man modellere rejsetider i et kollektivt transportnet, skal man i yderste konsekvens således ikke alene tage højde for hvor lang tid, det tager at køre en bestemt strækning, man skal også tage højde for hvornår bussen eller toget rent faktisk betjener strækningen. Denne type modellering fordrer en anderledes topologisk kompleks datamodel. Et sådan datamodel er opbygget til brug i dette projekt.

Objekter i modellen

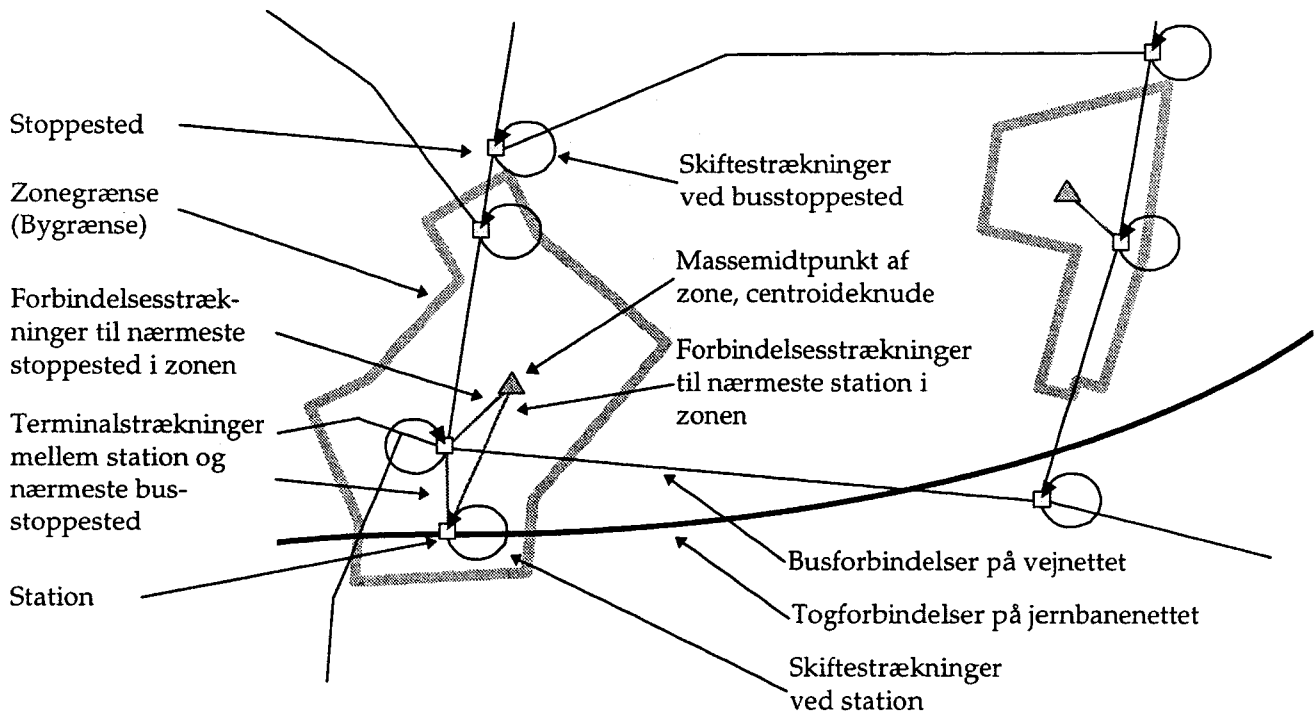
Datamodellen for det kollektive transportsystem er en model bestående af flere slags objekter. Objekterne er både af reel og imaginær karakter, og de repræsenterer både punkter, linier og flader. Modelens objekter fremgår af nedenstående figur 12, og gennemgås nærmere i det følgende.

Den del af datamodellen for det kollektive transportsystem, der anvendes til beregning af rejsetider er en såkaldt vægtet, orienteret graf, som den kendes fra grafteorien, jf. fx Cormen et al. (1990) og Nielsen (1994).

I denne graf er destinationer og zonemidtpunkter repræsenteret som punkter (knuder) og muligheden for, på et bestemt tidspunkt at bevæge sig mellem punkterne, som kanter (strækninger).

Disse kanter eller strækninger kan repræsentere noget forholdsvis reelt, fx en busafgang fra et stoppested til et andet, eller noget mere imaginært, fx det at vente ved et stoppested indtil bussen kommer.

De enkelte kantes vægte repræsenterer tiden, således at en kant mellem to stoppesteder har en vægt, der svarer til den tid det tager at køre mellem stoppestederne. Ligeledes har en kant, der repræsenterer det, at man venter på bussen, en vægt, der svarer til den tid man skal vente, indtil bussen kommer.



Figur 12: Objekter i datamodellen for det kollektive transportsystem. Note: Objekterne er projiceret på planen, hvorfor objekter der har samme beliggenhed i planen, men er forskellige i tid ikke kan skelnes fra hinanden. Se også figur 13, side 33 og figur 15, side 35.

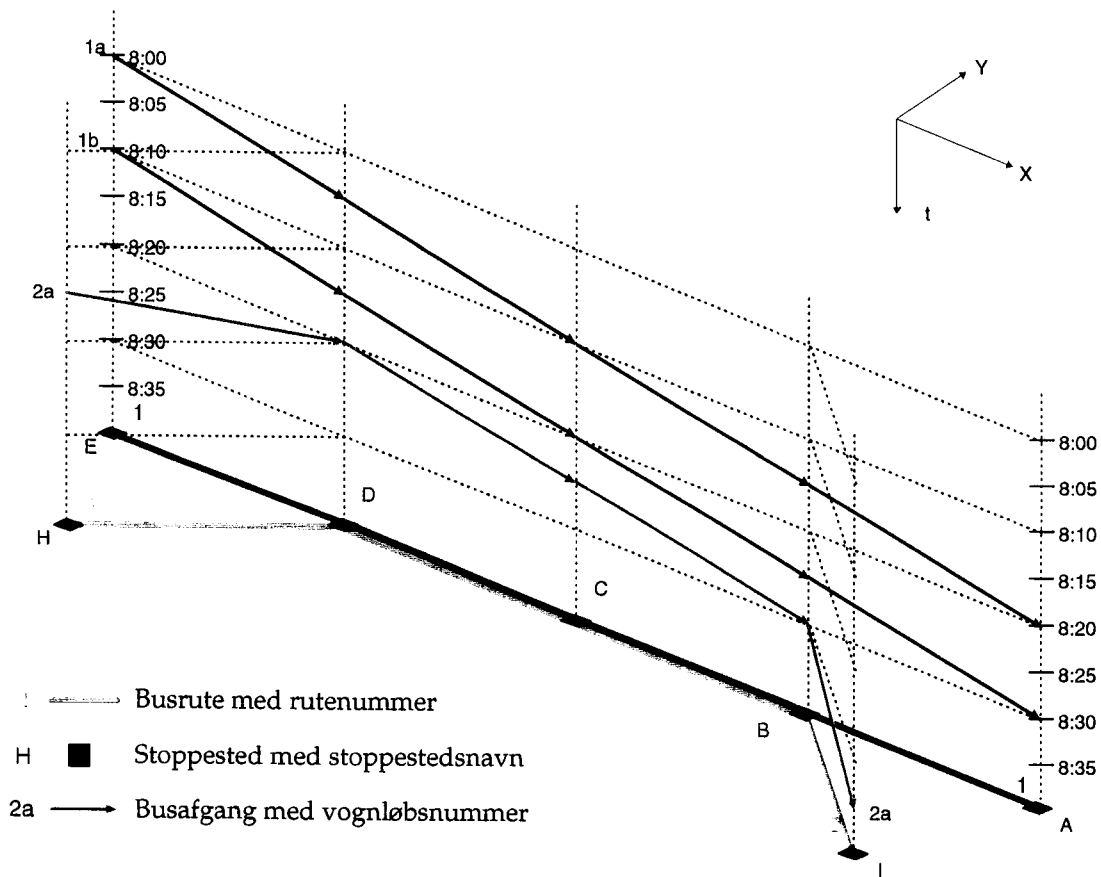
Dimensioner i modellen

Grafens enkelte punkter og kanter er georefereret i planen, hvilket betyder, at deres beliggenhed i modellen refererer til deres beliggenhed i virkeligheden, repræsenteret ved et givet koordinatsystem. Grafens punkter og kanter er endvidere orienteret absolut i tiden. Modellen er med andre ord en slags 3D-model, hvor de to første dimensioner repræsenterer planen, dvs. jordoverfladen, og den tredje dimension tiden. Dette ses af nedenstående figur 13, hvor der for overskuelighedens skyld kun er vist kanter, der repræsenterer busafgange.

De røde og grønne linier på den nederste del af figuren repræsenterer et kort over busruterne 1 og 2 i projektion. Herover er der udspændt et net af stiplede linier, i hvilket de lodrette linier repræsenterer den samme beliggenhed i planen, og de vandrette linier den samme beliggenhed i tiden. Tiderne er vist både til højre og til venstre på figuren.

I dette net er vist kanterne for tre såkaldte vognløb eller mere generelt fartøjsløb (se definition side 29), der i eksemplet på figuren er busforbindelser. Kanterne repræsenterer således de enkelte bussers fysiske bevægelse i tid og rum. Idet der er én kant for hver strækning mellem to stoppesteder, skal der i alt 12 kanter til for at repræsentere

bussernes bevægelser i eksemplet. Bemærk, at modellen er en orienteret graf, hvorfor alle kanterne er ensrettede, jf. pilene på figuren.



Figur 13: Tidsrepræsentationen i kollektivmodellen, her illustreret ved tre busafganges bevægelse i tid og rum. Figuren viser hvorledes tidsaspektet ved fartøjers bevægelse i planen kan illustreres i en rumlig figur, når tiden vælges som tredje dimension. Bemærk, at tidsaksen er nedadrettet, hvorfor man kun kan bevæge sig "ned ad bakke". Bemærk også, at kun den ene kørselsretning er vist på figuren.

På figur 13 går busrute nr. 1 fra E til A over D, C og B og vice versa. Busafgangen med vognløbsnummer 1a kører fra E kl. 8:00 og ankommer til H kl. 8:20. Undervejs standses ved D, C og B kl. hhv. 8:05, 8:10 og 8:15.

Et eksempel på en rejse i modellen

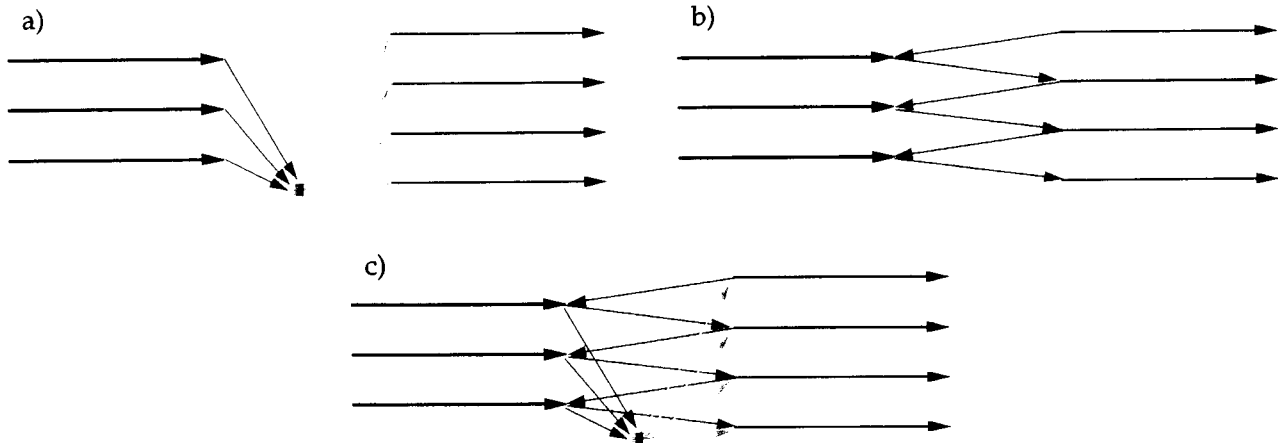
Skal man rejse fra E til I, og ankommer man til busstoppestedet E kl. 8:05, skal man først vente 5 minutter ved E inden man kan komme med første afgang 1b kl. 8:10. Afgang 1b ankommer til B kl. 8:25, hvor der er 5 minutters ventetid for skift til busrute nr. 2. Afgang 2a ankommer i I kl. 8:35. Rejsen har således taget 30 minutter, heraf er 5 minutter ventetid, 5 minutter skiftetid og 20 minutter køretid. Den samme rejse kunne også være gennemført ved skift i D eller C i stedet for B.

I modellen er den samlede rejsetids enkelte komponenter (ventetiderne, køretiderne og skiftetiderne) repræsenteret ved forskellige strækningstyper, jf. figur 12. Strækningstyperne er også gengivet på nedenstående figur 14.

Forbindelsesstrækninger

Ventetiden er repræsenteret ved de såkaldte *forbindelsestrækninger*. Disse strækninger er imaginære og forbinder transportnettet med de

knuder, der repræsenterer de enkelte zoner, de såkaldte centroideknuder. Enhver rejse i modellen har start- og slutpunkt ved en centroideknude, men det er ikke muligt at bevæge sig *over* en centroideknude på rejsen.



Figur 14: Strækningstyper i modellen. a) Køre- og forbindelsesstrækninger, b) køre- og skiftestrækninger, c) alle strækningstyper som de tager sig ud i modellen. Strækningerne er givet farver som følger: Ankomende kørestrækninger (sorte), forbindelsesstrækninger til en centroideknude (røde), forbindelsesstrækninger fra en centroideknude (grønne), skiftestrækninger (violette), afgående kørestrækninger (blå)

Enhver rejse bevæger sig over en forbindelsesstrækning som det første og som det sidste i rejsen.

Vægtene på de af forbindelsesstrækningerne der går *ud fra* zonerne er dynamiske, forstået på den måde, at de er afhængige af, på hvilket tidspunkt en rejse påbegyndes. Det er således vha. disse vægte at ventetiden beregnes. Vægtene på de af forbindelsesstrækningerne der går *ind til* zonerne er derimod sat til nul.

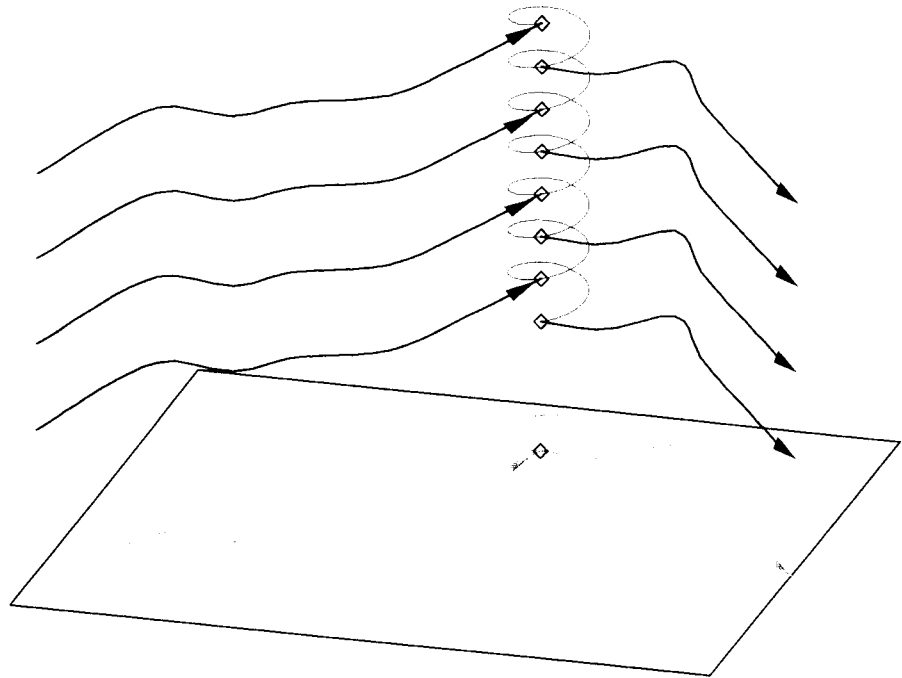
Der er forbindelsesstrækninger mellem hver centroideknude og alle ankomster og afgang tilhørende udvalgte destinationer indenfor den pågældende zone. Destinationerne er udvalgt således at alle buslinier i zonen knyttes op på zonens centroid. Der er ligeledes forbindelsesstrækninger fra centroideknuden til zonens evt. jernbanelstation. Der er ingen begrænsning på gradienten af forbindelsesstrækningerne, idet disse strækninger ikke repræsenterer nogen form for reel bevægelse.

Kørestrækninger

Køretiden er repræsenteret ved de såkaldte *kørestrækninger*. Disse strækninger er af mere reel karakter og repræsenterer fartøjers bevægelse i tid og rum. Gradienten af disse strækninger svarer til det pågældende fartøj's hastighed.

Skiftestrækninger

Skiftetiden er repræsenteret ved de såkaldte *skiftestrækninger*. Disse imaginære strækninger repræsenterer skiftemuligheder ved en og samme destination. Der er ingen begrænsning på gradienten, eftersom den reelle længde af skiftestrækningen er nul. Skiftestrækninger anvendes også for i modellen at knytte afgang fra et trafikelskab sammen med afgang fra et andet. Af praktiske årsager er skiftestrækningerne i modellen spiralformede, jf. nedenstående figur 15.



Figur 15: Tidsrepræsentationen i modellen, her illustreret ved et stoppested med udvalgte kørestrækninger (fire ankomster og fire afgang, farvet blå). På figuren ses ligeledes de til modelleringen af skiftemuligheder nødvendige syv skiftestrækninger (farvet røde). Rektanglet nederst på figuren skal illustrere planen, og de grønne linier køre- og skiftestrækningernes projektion på denne.

Terminalstrækninger

En speciel form for skiftestrækninger er de såkaldte *terminalstrækninger*. Disse strækninger er af mere reel karakter og repræsenterer bevægelsen fra en destination til en anden fx til fods. Terminalstrækninger i modellen etableres mellem en station og det nærmeste busstoppested, men kun hvis afstanden er mindre end 1000 m. Gradienten af terminalstrækninger sættes til ganghastigheden 5 km/t og modstanden beregnes herefter.

Opbygningen af modellen

Det program, der opbygger modellen følger følgende princip:

Vha. køreplandatabasefortolkeren udtager programmet et fartøjsløb fra køreplandatabasen. Fartøjsløbet opdeles i såkaldte segmenter, dvs. strækninger mellem to på hinanden følgende destinationer. For det enkelte segment finder programmet den korteste rute på vej- eller jernbanenettet, afhængig af om fartøjsløbet er en bus- eller jernbane-forbindelse. Det antages, at det er denne fysiske rute fartøjsløbet følger. Programmet sammensætter derefter alle segmenterne tilhørende et fartøjsløb, og proceduren gentages for alle fartøjsløb på den pågældende linie, for alle linier i det pågældende trafikselskab og for alle trafikselskaber i modellen. De herved opbyggede strækninger er de såkaldte kørestrækninger.

Programmet opbygger derefter skifte- og forbindelsesstrækningerne efter oplysninger fra køreplandatabasefortolkeren og oplysninger fra de forskellige, digitale kort. Disse strækninger sættes sammen med kørestrækningerne og modellen er færdig.

3.1.3 Model til beregning af rejsetider for kollektivrejser

Den tredje submodel i modellen for det kollektive transportsystem er modellen til beregning af rejsetider. Denne model tjener flere forskellige formål.

Beregning af gennemsnitlig rejsetid

Som nævnt i afsnit 2.7 har oplysningerne om rejsetidspunkt i TU-data kun en opløsning på en time. Det er således ud fra TU-data ikke muligt, præcist at bestemme til hvilket tidspunkt personen fra interviewet har gennemført sin rejse. Rejsetiden er dog i høj grad afhængig af, på hvilket tidspunkt rejsen gennemføres - selv indenfor den samme time. Det er derfor blevet besluttet, at beregne et gennemsnit for timen på basis af flere beregninger af rejsetiden.

Beregning af ventetider

Som nævnt i afsnit 3.1.2, er vægtene dynamiske på de af kanterne i modellen, der repræsenterer forbindelsesstrækninger ud fra zonerne. Submodellen til beregning af rejsetider i det kollektive transportnet anvendes også til at beregne disse vægte for hver enkelt rejse. Dette foregår som følger:

For hver rejse i inddatafilen fra TU-data (jf. afsnit 2.7) er der angivet en fra-zone, en til-zone og et starttidspunkt for rejsen. For alle forbindelsesstrækninger tilhørende fra-zonen trækkes dette starttidspunkt fra afgangstidspunktet tilhørende hvert af de fartøjsløb, der afgår fra zonen. Resultatet af denne operation er den ventetid, der må påregnes til hver af afgangene fra zonen. Denne ventetid udgør vægten på den pågældende kant i modellen. Er ventetiden negativ, betyder det, at bussen eller toget allerede er kørt, hvorfor den pågældende rejse ikke kan benytte sig af denne afgang.

Ugedag

Hvilken ugedag der er tale om, fremgår af starttidspunktet fra inddatafilen, således at rejser der i virkeligheden er foretaget en hverdag af modellen bliver beregnet på en køreplan svarende til en hverdag. Det samme gælder naturligvis for lørdage og søndage.

Modellen skelner kun mellem klokkeslæt og ugedag, og tager således ikke hensyn til ferier eller helligdage.

Submodellens uddata beskrives sammen med de øvrige submodellers uddata i det efterfølgende afsnit 3.4.

3.2 Submodeller for bilrejser

Modellen for transportsystemet for bilrejser består jf. figur 1, side 10, af to submodeller: 1) En datamodel for vejnettet; og 2) En model til beregning af rejsetider for bilrejser på dette vejnet. Submodellerne beskrives i det følgende.

3.2.1 Datamodel for transportnettet for bilrejser

Sammenlignet med datamodellen for det kollektive transportnet er datamodellen for transportnettet for bilrejser meget enkel. Forskellen består for det væsentligste i, at rejsetiderne i bil i meget lille grad er afhængige af det tidspunkt rejsen foretages på, hvorfor man ikke behøver at tage hensyn til rejsehastighedernes fordeling over dagen.

Som datamodel for vejnettet er anvendt det digitale kort over vejene i Danmark, det såkaldte VejnetDK. Kortet er beskrevet nærmere i afsnit 2.1.

Anvendelse af attributter

Som nævnt i afsnit 2.1, er der i VejnetDK forskellige oplysninger tilknyttet den enkelte vejstrækning. Af disse oplysninger er vejtypen blevet anvendt til fastsættelse af rejsehastigheden på den enkelte strækning. VejnetDK indeholder egentlig oplysninger om hastighed på den enkelte vejstrækning, men det har vist sig, at disse oplysninger ikke er helt konsekvente. Der er således for visse vejes vedkommende tale om gennemsnitshastigheder, medens der for andre vejes vedkommende er tale om hastighedsgrænser.

Kørehastigheder

Kørehastighederne på de enkelte strækninger er i datamodellen derfor fastsat som følger: For motor- og motortrafikveje er kørehastighederne sat til hhv. 110 og 90 km/t. For hovedvejenes vedkommende er hastigheden sat til 80 km/t, bortset fra de hovedveje der ligger indenfor bebygget område. Indenfor bebygget område er hastigheden for alle veje undtagen motor- og motortrafikvejene sat til 40 km/t. For alle øvrige veje er hastigheden sat til 60 km/t og for færger 20 km/t.

Disse hastigheder er vha. VejnetDKs oplysninger om strækningslængde derefter anvendt til beregningen af rejsetiderne på den enkelte strækning. Rejsetiderne udgør - ligesom i modellen for det kollektive transportsystem - vægtene i den graf, ved hvilken transportsystemet er repræsenteret.

For at skelne mellem vejstrækninger i bebygget område og strækninger i det åbne land er det digitale zonekort beskrevet i afsnit 2.4 ligeledes anvendt.

3.2.2 Model til beregning af rejsetider for bilrejser

Den anden submodel i modellen for bilrejser er modellen til beregning af rejsetiden. Sammenlignet med modellen til beregning af rejsetider i den kollektive trafik er denne model meget enkel. Forskellen mellem de to submodeller består for det væsentligste i, at rejsetiderne i bil i meget lille grad er afhængige af det tidspunkt rejsen foretages på. Der er således ikke behov for at beregne fx dynamiske ventetider (jf. afsnit 3.1.3), ligesom at rejsetiden i bil af hensyn til adfærdsmodellen ikke behøves differentieret i køre-, vente- og skiftetid, som det er tilfældet for den kollektive trafik.

Videre er det heller ikke nødvendigt at beregne et gennemsnit af rejsetiden for bilrejserne over timen, jf. afsnit 3.1.3. Submodellen for beregning af rejsetider for bilrejser beregner således kun den samlede rejsetid og rejselængden for hver rejse fra TU-data.

Det skal også her anføres, at der ved rejsetiden forstås rejsetiden for den hurtigste rute mellem et zonepar, og at der ved rejselængden forstås længden af den hurtigste rute.

Submodellens uddata beskrives nærmere i afsnit 3.4

3.3 Submodel til beregning af attraktions- og serviceniveaudata

En anden vigtig parameter til modelleringen af transportmiddelvalget i adfærdsmodellen jf. Rich (1998) er serviceniveauet af den kollektive trafik mellem de punkter hvor rejsen foregår. Denne parameter modelleres jf. figur 1, side 10, ved en model der anvender datamodellen for det kollektive transportnet kombineret med det digitale zonekort beskrevet i afsnit 2.4.

Attraktionsdata

Den samme model anvendes også til beregning af de såkaldte attraktionsdata. Det bemærkes, at ordet attraktion i denne forbindelse ikke anvendes som udtryk for et antal rejser attraheret til en zone, men som parametre, ved hvilke et udtryk for generation og attraktion af rejser kan opstilles. Disse parametre omfatter antal arbejdspladser fordelt efter branche, antal boliger fordelt efter boligtype, samt oplysninger om alderssammensætning og beskæftigelse af befolkningen. Attraktionsdata beregnes på baggrund af det digitale zonekort samt registerdata fra Danmarks Statistik, jf. afsnit 2.6.

Attraktionsdata for de enkelte zoner er valgt udtrykt ved det antal arbejdspladser mv. (se afsnit 2.6) der ligger indenfor forskellige, euklidiske radier fra zonemidtpunktet (5, 10 og 30 km).

Serviceniveaudata

Ud fra de muligheder som datamodellen for det kollektive transportnet udbød, blev det valgt at udtrykke serviceniveauet af den kollektive trafik ved antallet af kørte fartøjskilometer pr. arealenhed. Af praktiske årsager valgtes det, at beregne antal km fartøjsløb pr. km² i en cirkel med radius 10 km omkring bymidten. Ligeledes af praktiske årsager valgtes det, at lade udtrykket være en vægtet sum af antallet af fartøjskilometer for hhv. hverdage, lørdage og søndage, således at disse tre typer af dage vægtedes ligeligt.

Enheden for udtrykket for serviceniveauet er km/km² eller km¹. Af praktiske grunde er det kun de segmenter (se definition sidst i afsnit 3.1.2) hvor hele segmentet falder indenfor ovenstående radius, der er talt med.

Der har i opgørelsen af serviceniveau og attraktionsdata som følge af sagens natur ikke kunne tages hensyn til naturlige barrierer. Afstandene er således beregnet i luftlinie, og der tages ikke hensyn til om man fx skal over vand.

3.4 Uddata fra modellen

Nedenstående figur 16 viser et eksempel på indholdet af de to uddatafiler fra modellen.

Som det ses af figuren, sammensættes uddata fra modellen for kollektivrejser med uddata fra modellen for bilrejser til én fil til videre brug i adfærdsmodellen.

Rejsetider

Uddatafilen fra rejsetidsberegningerne indeholder til hver rejse (karakteriseret ved et rejsenummer) oplysninger om rejsens tilba-

gelagte afstand, rejsetid i bil, samt rejsetid med kollektive transportmidler. Rejsetiden for kollektive transportmidler er opdelt i køre-, skifte- og ventetid.

De rejser, som modellen af en eller anden grund ikke har kunnet beregne rejsetider for, er i uddata forsynet med en passende fejlkode. Fejlkoden anvendes til senere at finde ud af, hvorfor den pågældende rejses rejsetid ikke kunne beregnes.

DMUZONENR	SERVICENIV	FREMST5	HANDL1_5	HANDL2_5	FSKOLER5	(...)	GYMNAS30	TOTAL30
1656400	11,3	7388	1665	1494	1385		1346	53923
1656600	12,1	617	167	194	331		1344	54337
1656800	12,4	713	75	222	213		1346	56502
1657000	1,8	364	88	185	133		437	17264
1657200	6,5	32	21	3	36		379	18416
1658000	11,7	3	19	13	45		1900	49757
1658400	12,6	3	19	13	45		1908	51229
1658600	12,4	147	14	51	124		2167	60606
1658800								63231
1659000		1	15,2	19	20	0	26	74458
1659200		2	15,2	19	20	0	7	65511
1660000		3	15,2	19	20	0	57	74807
1660200		4	15,2	19	20	0	35	84002
1660600		5	15,2	19	20	0	12	76032
1660800		6	15,2	19	20	0	55	76538
1661000		7	5,8	8	12	3	12	74019
		8	5,8	8	12	3	56	
		9	5,8	8	12	3	37	
		10	24,9	30	55	25	8	
		11	24,9	30	72	15	98	
		12	24,9	30	72	15	16	
		13	15,2	19	20	0	32	

Figur 16: Eksempler på tabeller for uddata fra modellen. Den øverste tabel indeholder uddata fra submodellen til beregning af serviceniveau og attraktionsdata. Feltet SERVICENIV angiver hvor mange km fartøjsløb med offentlige trafikmidler, der er pr. km² indenfor en radius af 10 km fra zonemidtpunktet af den aktuelle zone. Enheden er km⁻¹. Øvrige felter angiver hvor mange arbejdspladser mv. der er indenfor forskellige radii fra bymidten. Felterne i tabellen er sammensat af en forkortelse af navnet på feltet i registerdata og radius i km. Bemærk: Ikke alle felter er vist i eksemplet. Den nederste tabel viser uddata fra submodellerne til beregning af rejsetider. Feltet REJSENR henviser her til en rejse i inddatafilen fra TU-data, jf. figur 10, afsnit 2.7.

Attraktions- og serviceniveaudata

Uddatafilen for serviceniveau og attraktionsdata indeholder, for hver af zonerne indeholdt i det digitale kort, et udtryk for serviceniveauet i den pågældende zone samt forskellige attraktionsdata som beskrevet i afsnit 3.3.

3.5 Anvendt programmel

I dette afsnit beskrives det kort hvilket programmel, der har været anvendt i projektet.

Operativsystemer

I løbet af projektet har følgende operativsystemer været anvendt til udvikling af modellen: Digital VMS 6.1, Digital UNIX OSF/1 og Windows NT 4.0. Modellerne, som de er beskrevet i denne rapport, er ved projektets afslutning alle operationelle på samme platform under Windows NT 4.0.

Databaser

Til udtræk af køreplandata fra køreplandatabasesystemet TR-System er anvendt det relationelle databasesystem Oracle, i form af Personal Oracle 7.3.2.2.1 til Windows NT 4.0.

Alle køreplandata er indlæst i databaser tilhørende det relationelle databasesystem MS Access 7.0. Til brug ved indlæsningen af data er bl.a. DAO (Data Access Objects) og Visual Basic anvendt.

Projektets køreplandatabasefortolkere jf. afsnit 3.1.1 er implementeret ved QBE- og SQL-forespørgsler i Access 7.0. De forskellige forespørgsler er sammenkædet og kan køres samlet vha. makroer.

Geografiske informationssystemer

Digitaliseringen af zoner og destinationer, jf. afsnittene 2.3 og 2.4, er foregået under anvendelse af shapefiler i ArcView 3.0a. ArcView er et såkaldt *Desktop GIS*. Ved digitaliseringen er endvidere Kort- og Matrikelstyrelsens VisIt 2.2 anvendt. VisIt er en digital kortdatabase med indbygget stednavneregister. Til kvalitetskontrol af data er anvendt WinChips 4.1, der kan kombinere VisIt's kortdatabase med ArcView's shapefiler.

Fraregnet køreplandatabasefortolkerne er modellen som sådan implementeret i det geografiske informationssystem ARC/INFO. ARC/INFO er et såkaldt *High End GIS*. Ved projektets afslutning er modellen operationel under ARC/INFO 7.1.2 til Windows NT 4.0.

Modellen er opbygget under anvendelse af ARC/INFO's makroprog AML (*Arc Macro Language*). Der er skrevet ca. 4.000 linier AML-kode i forbindelse med implementeringen af modellen.

De automatiske kontrolprocedurer til kvalitetssikring omtalt i afsnit 2.8 er implementeret i MS Access 7.0 vha. QBE- og SQL-forespørgsler, kombineret med AML-rutiner, der automatisk startes fra Access.

ARC/INFO er videre blevet anvendt til forskellig tilretning af datasæt digitaliseret i ArcView og til koordinattransformation jf. kapitel 2.

4 Diskussion

I dette afsluttende kapitel sættes erfaringerne med projektets data, metoder og resultater i perspektiv. Kapitlet behandler videre motivationen for at anvende geografiske informationssystemer (GIS) til projektets gennemførelse og et udblik til fremtidigt arbejde.

4.1 Data

Dette projekt har - måske i højere grad end oprindeligt planlagt - fået præg af at være et "dataprosjekt". En betragtelig del af projektets ressourcer er således blevet anvendt til tilvejebringelse og kontrol af data. Begrundelsen herfor ligger dog i sagens natur: Det ville ikke have været muligt at opbygge en model, der bare tilnærmelsesvis skulle kunne levere de samme beregningsresultater, ved anvendelsen af færre, mindre detaljerede data. Det store dataarbejde har derfor i praksis været en nødvendighed.

Status

Det meget store dataarbejde i projektet har medført, at der indtil nu ikke har været ressourcer til, at modellen kunne opstilles for hele landet. Modellen er p.t. opstillet for syv amter men vil i nær fremtid blive færdiggjort for hele landet.

Problemer vedr. datamængder

Detaljeringsgraden i data har givet anledning til flere principielle overvejelser.

Som nævnt opbygges modellen kun til at beregne rejsetider med kollektive transportmidler for en enkelt, repræsentativ køreplanperiode. Der skelnes således ikke mellem årene 1994 og 1995.

Det ville dog være teoretisk muligt på baggrund af de indsamlede køreplandata, at beregne rejsetider ud fra præcis den køreplan, der var gældende den dag rejsen blev foretaget. Dette ville dog fordrer en datamodel, der skulle kunne tage højde for flere køreplaner samtidig. Det er indlysende, at det ville være urealistisk at forsøge at opbygge en sådan model, set i relation til, at den nuværende model består af ca. 850.000 kanter, og dette endda kun for syv amter.

Der har i projektets forløb dog været mange andre valg af mindre indlysende karakter, der har måttet tages ud fra de bindinger som de store datamængder udgjorde.

De store datamængder har også givet anledning til forskellige tekniske problemer, idet størrelsen af data har overskredet givne begrænsninger for både software og hardware.

Problemer vedr. køreplandata

Det skal også nævnes, at det har været forbundet med væsentlige vanskeligheder at samle de mange forskellige trafikselskabers køreplandata til en samlet model. Dette skyldes ikke så meget det, at data er leveret i flere forskellige formater, men mere, at data har udvist en stor forskelligartethed indenfor det enkelte køreplandatabasesystem.

I forbindelse med anvendelsen af VejnetDK i projektet, har der været en del problemer. Disse problemer skyldes hovedsagelig topologiske fejl i vejnettet. Vejdirektoratet har oplyst, at der kan forventes at foreligge en ny version af VejnetDK medio 1998, i hvilken mange af disse fejl vil være rettet.

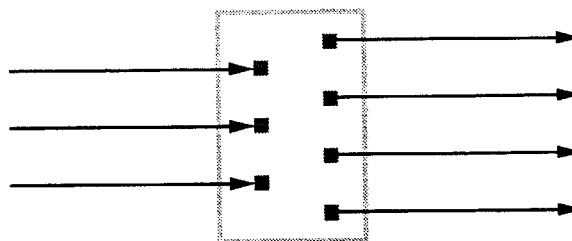
Sammenligninger af rejselister beregnet af modellen og oplyst i TU-data har vist, at der i fremtiden også består et behov for at kalibrere rejsehastighederne i VejnetDK. Denne kalibrering kunne evt. også omfatte *speed/flow*-modellering af rejsehastigheder udfra VejnetDKs oplysninger om årsdøgntrafik og vejbredde.

4.2 Metoder

Dette afsnit beskæftiger sig med nogle af de metodiske overvejelser man har måttet gøre sig i forbindelse med konceptueringen og opbygningen af modellen.

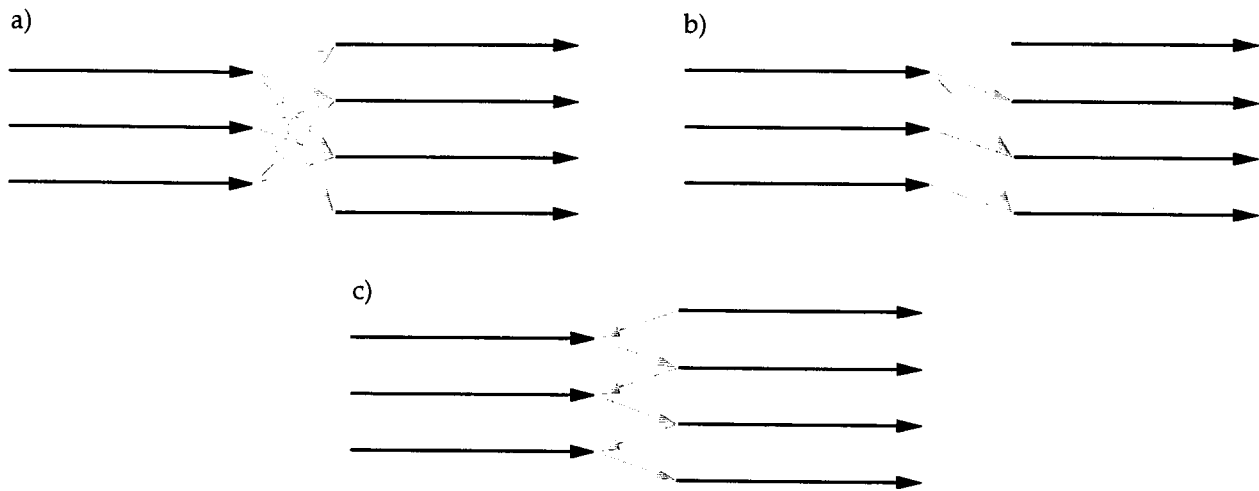
En vigtig sådan overvejelse er valget af repræsentation af skiftestrækningerne i datamodellen for det kollektive transportsystem, jf. afsnit 3.1.2. Ved at vælge en bestemt repræsentation fremfor en anden kan man nemlig opnå en reduktion af antallet af nødvendige kanter i den graf der skal repræsentere transportsystemet.

Hvis man - ligesom i modellen - repræsenterer en destination og de fartøjsløb (se definition sidst i afsnit 3.1.2.) der ankommer og afgår fra destinationen som en graf, kan hver enkelt forbindelse til og fra stoppestedet repræsenteres ved en kant, og stoppestedet kan repræsenteres ved flere til disse kanter hørende knuder (punkter), jf. nedenstående figur 17.



Figur 17: Repræsentation af en destination som en mængde af knuder (punkter) hvortil der ankommer og afgår forbindelser.

Repræsentationen af skiftestrækninger (skiftekanter) vil da kunne foretages på tre måder, jf. nedenstående figur 18:



Figur 18: Forskellige måder hvorpå man kan repræsentere skiftemuligheder ved en destination. På figuren ses kørestrækninger (sorte) og skiftestrækninger (grå). Figuren viser: a) Ren kombinatorisk repræsentation; b) Ordnet kombinatorisk repræsentation; c) Seriel repræsentation.

Ren kombinatorisk repræsentation

a) Man kan, rent kombinatorisk, forbinde hver af de ankomende kanter med alle afgående kanter. Hvis n betegner antallet af ankomende kanter og m antallet afgående, giver dette et totalt antal ekstrakanter i , givet ved (1).

$$i = n \cdot m \tag{1}$$

Man kan antage, at antallet af ankomster og afgang er nogenlunde lige stort, ellers ville fartøjerne hobe sig op ved destinationen. Man kan derfor slutte, at:

$$i \approx n^2 \tag{2}$$

Ordnet kombinatorisk repræsentation

b) Det er imidlertid ikke muligt at stige om til en bus, der allerede er kørt fra stoppestedet. Hvis man kan tage højde for dette, kan antallet af kanter reduceres. Hvis man således antager, at $n \approx m$ og at antallet af ankomster og afgang er ligeligt fordelt, vil dette give et tilnærmet totalt antal ekstrakanter givet ved (3). [Spiegel (1968)]

$$i \approx 1 + 2 + 3 + \dots + (n - 1) + n = \frac{1}{2}n(n + 1) = \frac{1}{2}n^2 + \frac{1}{2}n \tag{3}$$

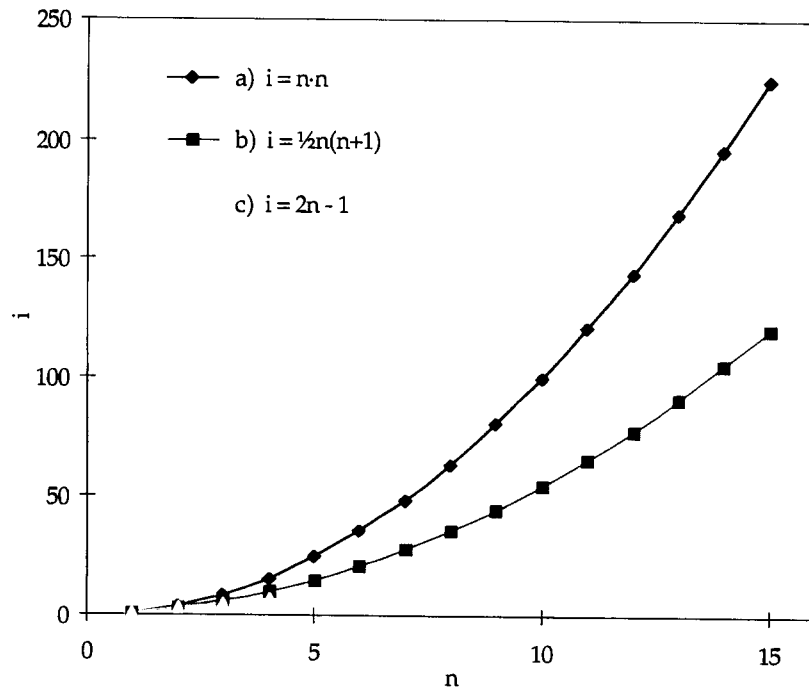
Seriel repræsentation

c) Der består imidlertid også en mulighed for at repræsentere skift mellem ankomende og afgående kanter ved at ordne disse kanters knuder i tiden og derefter forbinde hver enkelt knude med den næste knude rent tidsmæssigt. Dette giver et totalt antal ekstrakanter givet ved (4).

$$i = n + m - 1 \approx 2n - 1 \tag{4}$$

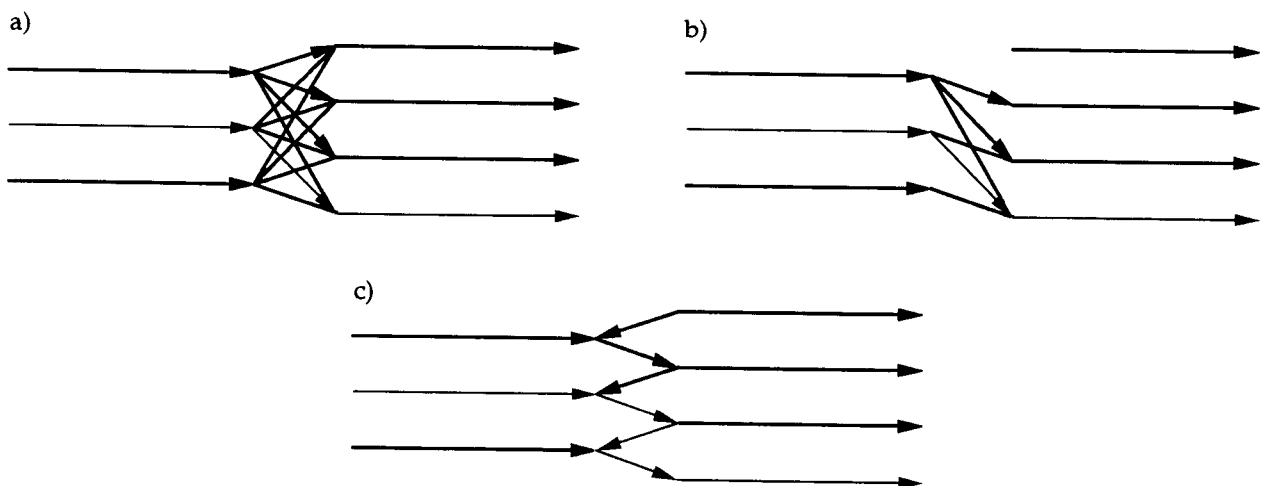
Antal skiftekanter

Det nødvendige antal skiftekanter for de tre fremgangsmåder ses af nedenstående figur 19. Det ses, at der er ganske væsentlige fordele forbundet ved at vælge den sidste fremgangsmåde, idet antallet af skiftekanter her kun stiger proportionalt med antallet af ankomster, og ikke som for de to andre fremgangsmåder med kvadratet på antallet.



Figur 19: Grafisk fremstilling af antallet af skiftekanter nødvendigt for at kunne modellere skiftemuligheder ved en destination for tre principielle måder at repræsentere skiftekanter på. Bogstavet n står for antal ankomster til destinationen, i er antallet nødvendige skiftekanter for de principielle fremgangsmåder a, b og c, beskrevet i teksten.

Lagringsmæssigt er det naturligvis en umiddelbar fordel at reducere antallet af kanter, men den serielle repræsentation c) har den mindre ulempe, at man i visse tilfælde skal igennem flere skiftekanter for at foretage et skift mellem en ankommende og en afgående forbindelse. Ved de kombinatoriske repræsentationer a) og b) skal man kun igennem én skiftekanter for at foretage et skift, jf. figur 1. I eksemplet på figuren skal man for fremgangsmåderne a) og b) kun igennem en skiftekanter for at foretage skiftet, for fremgangsmåde c) dog tre skiftekanter.



Figur 1: Den samme vej (rød) gennem de tre forskellige måder at repræsentere skiftemuligheder.

Anvender man således fx Dijkstras algoritme til at finde den korteste vej igennem grafen, har man således ganske vist ved den serielle fremgangsmåde c) reduceret antallet af kanter. Valget af fremgangsmåden betyder dog samtidig, at man skal foretage "en længere rejse" igennem grafen, hvorved der kræves flere iterationer af algoritmen.

Kompleksitet af
rutevalgsalgoritmer

Kompleksiteten af Dijkstras algoritme angives i Nielsen (1994) og Cormen et al. (1989) til

$$O(P^2) \quad (5)$$

hvor O betegner størrelsesordenen af antal nødvendige iterationer og P antallet af punkter (knuder) i grafen. Det ses, at anvendes Dijkstras algoritme (i sin oprindelige form) opnås der ingen beregningsmæssige fordele ved anvendelsen af den ene fremgangsmåde fremfor den anden, idet alle fremgangsmåder har det samme antal punkter (knuder).

Det forholder sig dog således, at det geografiske informationssystem ARC/INFO, i hvilket modellen er implementeret, anvender en modificeret form af Dijkstras algoritme. Denne modificerede form anvender såkaldt hobsortering og har, jf. Cormen et al. (1989) en lavere kompleksitet jf. (6). Dette gælder dog kun såkaldt *tynde* grafer, dvs. grafer, i hvilke kun en meget lille del af punktparrene er forbundet med en kant, jf. Nielsen (1994). Undersøgelser af modellen har vist, at dette kriterium er opfyldt.

$$O(K \log P) \quad (6)$$

I (6) betegner K antallet kanter i grafen.

Det ses således, at anvendes den modificerede udgave af Dijkstras algoritme, og vælges den serielle fremgangsmåde c), har dette både beregningsmæssige og lagringsmæssige fordele.

Modellens grafteoretiske
egenskaber

Grafen repræsenterende datamodellen for det kollektive transportsystem har, udover at den er *tynd*, følgende, øvrige grafteoretiske egenskaber, jf. Nielsen (1994):

Grafen kan have sløjfer og disse kan (men behøver ikke) bestå af multiple kanter. Sløjferne i grafen vil repræsentere to forskellige måder at komme fra et punkt til et andet på den samme tid. Multiple kanter vil repræsentere to forskellige fartøjer der kører på den samme strækning på det samme tidspunkt.

Multiple (parallelle) kanter kan forårsage Dijkstras algoritme til at fejle, men der er ikke observeret problemer i forbindelse hermed. Dette kan skyldes, at implementeringen af Dijkstras algoritme i ARC/INFO tager højde for sådanne fejl.

Erfaringer med 2D-
repræsentation

Idet 3D-repræsentationen af modellen som beskrevet i afsnit 3.1.2 først var mulig med version 7.1 af ARC/INFO, har det i løbet af projektet været forsøgt med forskellige 2D-udgaver af modellen, dette under anvendelse af fremgangsmåderne a) og b) til repræsentationen af skiftestrækninger. Figur 21, side 47, viser et eksempel på en af disse modelleres udseende.

En 2D-model af et kollektivt transportsystem kan implementeres vha. såkaldte svingtabeller, også kaldet *turntables*. Disse tabeller indeholder oplysninger om hvilke svingbevægelser man kan foretage i et transportnets enkelte knuder samt hvilke modstande der er forbundet med disse bevægelser. I en model af et kollektivt transportsystem repræsenterer svingbevægelserne omstigningsmuligheder ved et stoppested eller en station.

Denne form for repræsentation har dog, i det mindste i det geografiske informationssystem ARC/INFO, flere væsentlige ulemper:

For det første skal svingtabellen omfatte alle de svingbevægelser, der er mulige i den enkelte knude. Dette antal vokser med kvadratet på antallet af afgange fra knuden, analogt til den tidligere beskrevne kombinatoriske fremgangsmåde a).

For det andet er en svingtabel en del af et relationelt skema; tabellens felter relaterer til felter i datamodellens øvrige tabeller, strækningstabellen og knudetabellen. Ved opbygningen af den til datamodellen svarende graf, skal det geografiske informationssystem således foretage såkaldte *joins* mellem disse tabeller. Hvis modellen ikke er implementeret i et egentligt relationelt databasesystem kan dette være en uoverkommelig opgave set i relation til svingtabellens størrelse.

For det tredje kan Dijkstras algoritme til bestemmelse af den korteste vej ikke direkte anvendes på en datamodel i hvilken der anvendes svingtabeller. Svingtabellen skal nemlig først omdannes til en til svingbevægelserne svarende graf af kanter (strækninger). Resultatet af denne omregning svarer fuldstændig til resultatet af omdannelsen til en graf af datamodellen beskrevet i afsnit 3.1.2. Forskellen mellem datamodellen beskrevet i afsnit 3.1.2 og en datamodel som anvender svingtabeller er således, at der her kræves et ekstra beregningsgang ved omdannelsen af datamodellen med svingtabeller til en graf.

Forsøg med svingtabeller

I startfasen af dette projekt blev det forsøgt at opstille en datamodel under anvendelse af svingtabeller. Dette forsøg mislykkedes i første omgang fordi det geografiske informationssystem ikke kunne håndtere opbygningen af svingtabellen i én omgang, dette pga. svingtabellens potentielle størrelse. Det lykkedes dog at opbygge en svingtabel ved at gå trinvist frem. Forsøget på at opstille og anvende en datamodel med svingtabeller mislykkedes dog endegyldigt, idet det geografiske informationssystem ikke formåede at oversætte modellen til en tilsvarende graf, dette ligeledes grundet svingtabellens størrelse.

Forsøg med forskudte strækninger i planen

Såfremt man ikke vil anvende svingtabeller, har en 2D-repræsentation en yderligere væsentlig ulempe i forhold til en tilsvarende 3D-repræsentation: For at kunne modellere skift vha. kanter er det nødvendigt at forskyde samtlige kørestrækninger i planen, således at ingen af disse strækninger har sammenfaldende knuder (punkter).

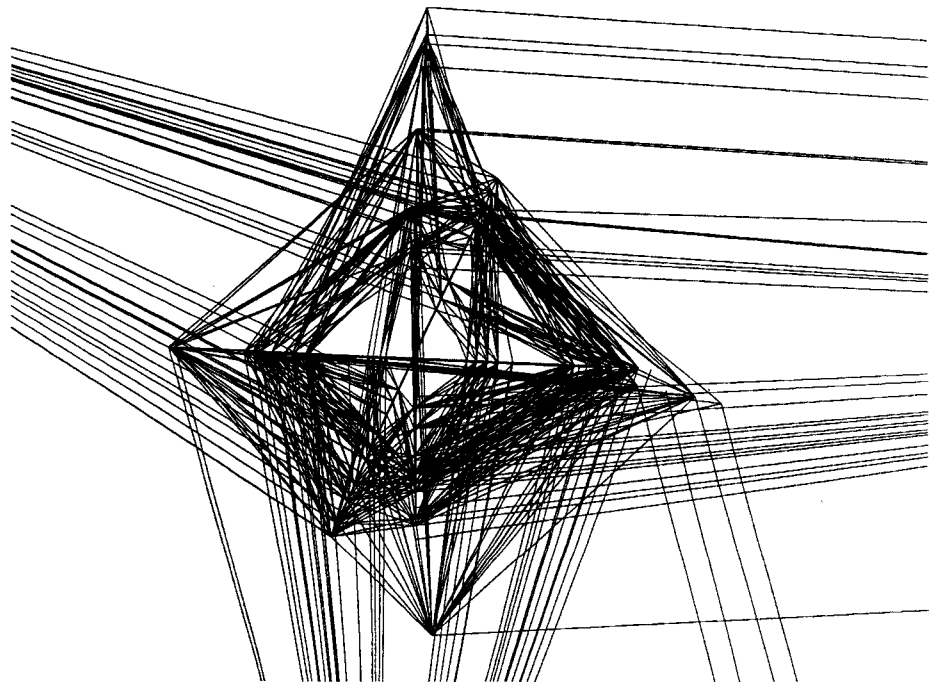
Set i relation til antallet af kørestrækninger der skulle flyttes i forbindelse med projektet var dette en overordentlig stor opgave. Med henblik på reduktion af den meget omfattende beregningstid forbundet med flytningen blev flere forskellige metoder til flytning af strækninger undersøgt:

Først undersøgte muligheden i flytning af strækningerne efter et parallelt princip. Dette princip skulle sikre en let forståelig og overskuelig model, hvor hver enkelt fartøjsløb skulle være placeret ved siden af andre fartøjsløb, der benyttede sig af den samme rute. Det viste sig dog, at beregningerne til denne måde at flytte de enkelte strækninger på var uforholdsmæssigt tunge.

Dernæst undersøgte muligheden af, kun at flytte den sidste del af strækningen og lade den midterste del af strækningen være uberørt. Dette skulle medføre, at færre punkter skulle flyttes end ved det parallelle princip. Herved måtte man dog give afkald på noget af overskueligheden i modellen.

Dette princip viste sig noget mindre beregningstungt end det første, men der var stadig ingen hurtig måde, hvorpå det kunne beregnes, hvor langt ud en strækningssende skulle flyttes, for ikke at støde sammen med en anden.

Som løsning på dette problem valgtes det først at flytte en delstrækning et stykke ud for dernæst at undersøge, om strækningens knude faldt sammen med andre knuder. Såfremt dette var tilfældet skulle flytningen fortsætte.



Figur 21: Eksempel på anvendelsen af skiftestrækninger efter fremgangsmåde b) i en tidligere 2D-udgave af modellen. Figuren viser kørestrækninger og skiftestrækninger omkring Slagelse Busterminal.

Idet også denne løsning var noget beregningstung blev det forsøgt, at flytte strækningen en tilfældigt valgt afstand ud fra dens oprindelige position. Dette skulle sikre, at kun få strækningers knuder ramte hinanden i første forsøg. De knuder der stadig var sammenfaldende efter første forsøg kunne dernæst køres igennem proceduren igen, indtil alle knuder var frie af hinanden.

Konklusion

Metoden var den hurtigste af de forsøgte metoder, men beregnings-tiden var stadig ganske betragtelig. Resultatet af anvendelsen af metoden ses af ovenstående figur 21. Ønsket om en let forståelig og overskuelig model måtte med dette forsøg således endelig opgives.

På baggrund af alle disse besværligheder kan det konkluderes, at en 3D-modellering af et kollektivt transportnet, hvor tiden vælges som tredje dimension, langt er at foretrække fremfor forsøg på at tvinge en tilsvarende model ned i to dimensioner.

4.3 Resultater og status

Nedenstående figur 22 viser den indtil nu opbyggede model. Som det ses af figuren, har modellen indtil nu ikke kunnet opstilles for hele landet. Der kunne indtil nu således kun gennemføres beregninger af rejsetider i syv amter, og dette kun for amtsinterne rejser.

De syv amter modellen er p.t. opbygget for er Viborg Amt, Ringkøbing Amt, Ribe Amt, Vejle Amt, Sønderjyllands Amt, Storstrøms Amt og Vestsjællands Amt.



Figur 22: Den indtil nu opbyggede model.

Nuværende omfang

Den opbyggede model består af ca. 850.000 kanter og ca. 330.000 knuder. Modellen fylder ca. 280 MB. På trods af denne relativt omfangsrige karakter, kan der med modellen gennemføres rejsetidsbe-

regninger for både bil og kollektiv svarende til ca. 2.500 rejser pr. time.

Kontrol af resultater

Rigtigheden af modellens uddata er kontrolleret ved stikprøvekontrol. Der er dog ikke foretaget nogen form for kalibrering af modellen, fx ved sammenligning med de i TU-data opgivne rejsetider.

Den opbyggede model har en del svagheder af mere eller mindre graverende karakter:

Midnatsproblemet

Ved konceptueringen af modellen, har det med den valgte opdeling i hverdage, lørdage og søndage, været vanskeligt at tage hensyn til muligheden for beregning af rejsetider for rejser der går over midnat. Dette skyldes bl.a., at der efter nogle hverdage kommer en lørdag eller en helligdag, medens der efter andre kommer en ny hverdag. Disse typer af hverdage skulle således behandles hver for sig, såfremt der skulle kunne beregnes rejsetider for rejser over midnat.

Modellen er opstillet således, at der for hverdage er medtaget fartøjsløb der går ind i det næste døgn, således at dette antages at være et hverdagsdøgn. Disse fartøjsløb medtages dog kun indtil kl. 3 nat. Det tilsvarende gælder for lørdage og søndage.

Problemet skal dog ses i relation til, at det kun er en meget lille del af transportvaneundersøgelsens rejser der bevæger sig over midnat.

Valg af rejserute

Passagerer i den kollektive trafik vælger deres rejserute ud fra mange forskellige parametre. Den opbyggede model beregner kun den hurtigste rejserute. Der modelleres således ikke på fordelinger af rutevalg, fx ved hjælp af en stokastisk rutevalgsmodel. Ved anvendelsen af modellen kan beregningen dog udformes således, at en gennemsnitlig værdi for rejsetiden fra et punkt til et andet kan beregnes for et givet tidsrum. Heri kan implicit ligge forskellige rutevalg.

Den opstillede model tager heller ikke højde for den kollektive trafiks punktlighed eller regelmæssighed, parametre som også er væsentlige for passagerers valg af rute.

Nulskiftetider

En datamodel for det kollektive transportsystem som beskrevet i afsnit 3.1.2 har den ulempe, at der ved en destination består muligheden for at skifte fra et fartøjsløb til et andet, selv om skiftetiden er nul. I praksis er dette normalt ikke muligt, idet man typisk skal bevæge sig fra et stoppested til et andet, eller fra en perron til en anden.

4.4 Anvendelsen af GIS

Der kan tales både for og i mod anvendelsen af geografiske informationssystemer (GIS) til løsning af en opgave som den, dette projekt har været stillet overfor vedr. beregning af rejsetider i den kollektive trafik.

Alternative fremgangsmåder

Inddateringen af zoner og destinationer har været en meget omfattende arbejde. Strengt taget kunne man have løst opgaven med beregning af rejsetider på følgende måde: I en database kunne man have tilordnet alle vigtige destinationer et tilhørsforhold til en zone. I

samme database kunne man gruppere vigtige destinationer trafikskaberne i mellem. Derefter kunne man have implementeret en rutevalgsalgoritme enten direkte på trafikskaberne køreplandata eller på et udtræk heraf. Med denne algoritme kunne man således beregne rejsetider for rejser med kollektive transportmidler.

Anvendelsespotentiale

Det er vanskeligt at vurdere, hvor meget mindre krævende denne måde at gribe problemstillingen an på ville have været, men en ting er sikkert: Den derved opbyggede model ville ikke tilnærmelsesvis have et anvendelsespotentialer sammenlignet med en tilsvarende GIS-model. Det ville således ikke være muligt at opstille geografisk relaterede mål for fx serviceniveauet i den kollektive trafik, jf. afsnit 3.3.

Det kan således siges, at anvendelsen af GIS i projektet ikke har været en nødvendighed men en fordel, forstået på den måde, at anvendelsen af GIS har medført, at der er blevet opbygget en geografisk database for det kollektive transportsystem i Danmark - en database som vil kunne bruges til besvarelsen af mange andre spørgsmål, end de, det var dette projekts formål at besvare.

4.5 Udblik

Som nævnt tidligere, har det store dataarbejde i projektet medført, at modellen indenfor projektets rammer ikke har kunnet opstilles for hele landet. Modellen tænkes dog i nær fremtid gjort helt færdig.

Der er endvidere planer om, i nær fremtid at forfine modellens zonestruktur yderligere. Denne forfining vil også omfatte områderne udenfor det bebyggede areal. Forfiningen vil medføre, at der kan beregnes et mere nøjagtigt udtryk for rejsetiden i modellen. Forfiningen skal ses i relation til, at Danmarks Statistik pr. maj 1997 i transportvaneundersøgelsens interviews spørger til adresserne på udgangs- og endepunkterne for rejserne.

Som beskrevet bl.a. i forrige afsnit, er der en del mindre problemer forbundet med anvendelsen af modellen. Det er planen i fremtiden at beskæftige sig med løsningen af følgende af problemerne:

Midnatsproblemet

Problemet vedr. rejser over midnat tænkes i fremtiden løst vha. specielle skiftetrækninger, der fx kan forbinde en hverdag, der er en torsdag med en tilsvarende, efterfølgende hverdag (dvs. en fredag) og analogt for de øvrige dage.

Serviceniveau

Som nævnt i afsnit 3.3 valgtes det, at lade udtrykket for serviceniveauet være en vægtet sum af antallet af fartøjskilometer for hhv. hverdage, lørdage og søndage, således at disse tre typer af dage vægtedes ligeligt. Dette valg er truffet ud fra modellens struktur, idet denne sum let kan beregnes. I fremtidige versioner af modellen vil det dog tilstræbes, at beregne serviceniveauet således at hverdage vægtes $5/7$ og lørdage og søndage hver $1/7$, hvad der må formodes at være mere korrekt.

Attraktionsdata

Som nævnt tager den nuværende metode til opgørelse af attraktionsdata ikke hensyn til naturlige barrierer, idet afstanden opgøres i luft-

linie. Dette problem tænkes i fremtiden løst ved at opgøre afstanden som afstand på vejnettet i stedet for.

Nulskiftetider

Problemet beskrevet i forrige afsnit vedr. muligheden for at skifte fra et fartøjssløb til et andet i modellen, selv om skiftetiden er nul, tænkes i fremtiden løst vha. svingtabeller.

På baggrund af datamodellens struktur, er det nærliggende, i fremtiden også at beregne andre parametre end de, der beregnes med modellen i dens nuværende form.

Antal skift

En sådan parameter er antallet af skift, der skal foretages i en rejse med kollektive trafikmidler. Denne parameter har naturligvis indflydelse på transportmiddelvalget, hvorfor adfærdsmodellen, jf. Rich (1998) muligvis vil kunne gøres bedre ved også at kunne tage hensyn hertil.

Pris

En anden parameter, der vil kunne beregnes, er prisen for enkeltrejser med kollektive transportmidler. Dette fordrer en digitalisering af de enkelte trafikselskabers zonestruktur, men denne digitalisering kan foretages mere eller mindre automatisk, idet der i de fleste køreplandatabaser er oplysninger om, hvilken zone det enkelte stoppested ligger i. Der kan dog ikke umiddelbart beregnes rejsepriser for passagerer der anvender månedskort eller lignende.

Emissioner

Som modellen er opbygget nu, kan der kun beregnes emissioner for hele det kollektive transportnet på en gang. En udvidelse af modellen til for hver rejse også at producere oplysninger om antal kørte km fordelt på fartøjstyper og hastigheder vil dog i fremtiden kunne anvendes til beregning af den enkelte rejses emissioner. Dette forudsætter dog at belægningsprocenten for de enkelte fartøjer er kendt eller kan anslås.

Køreplandatabasefortolkere

Indtil nu er der kun skrevet køreplandatabasefortolkere til systemerne TR-System og *Journey Planner*. Inden modellen kan opstilles for hele landet skal der således skrives køreplandatabasefortolkere til de formater som byerne Århus, Aalborg og Odenses trafikselskaber anvender.

Kvalitetssikring

Det skal til sidst nævnes, at det indenfor projektets rammer af ressourcemæssige årsager ikke har været muligt at gennemføre kvalitetssikringsprogrammet fuldt ud. Dette forestår således ligeledes.

Kildefortegnelse

Cormen, T.H., Leiserson, C.E. & Rivest, R.L. (1990): *Introduction to Algorithms*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

COWI (1995): *Faktorer i bilisters valg af transportmiddel - En stated preference-undersøgelse*, COWiconsult - Rådgivende Ingeniører, Accent - Marketing og Research, Lyngby.

Danmarks Statistik (1995): *Statistisk Årbog*, Danmarks Statistik, København.

Dansk Standard (1997): *Geografisk Information, Databeskrivelse, Kvalitet*, Forslag til Dansk Standard DSF 31845 (Identisk med Draft European Standard, PrEN 12656), Charlottenlund.

Heerwaarden, M.C. van (1994): *International File format, CVI Journey Planner, Version 3.0*, CVI EDS, Utrecht.

HTM (1996a): *Hovedstadstrafikmodel Version 3.0 - Beskrivelse af døgntrafikmodel*, Firma Anders Nyvig A/S, København.

HTM (1996b): *Hovedstadstrafikmodel Version 3.0 - Beskrivelse af Datagrundlag*, Firma Anders Nyvig A/S, København.

HTM (1996c): *Hovedstadstrafikmodel Version 3.0 - Beskrivelse af datagrundlag - BILAG*, Firma Anders Nyvig A/S, København.

Jacobi, O. (1983): *Landmåling - Beregningseksempler med Edb-programmer*, Institut for landmåling og fotogrammetri, Danmarks Tekniske Universitet, Lyngby.

Jensen, M. (1997a): *ALTRANS - Benzin i blodet, Kvalitativ del*, Faglig rapport nr. 191. Afdeling for Systemanalyse, Danmarks Miljøundersøgelser, Roskilde.

Jensen, M. (1997b): *ALTRANS - Benzin i blodet, Kvantitativ del*, Faglig rapport nr. 200. Afdeling for Systemanalyse, Danmarks Miljøundersøgelser, Roskilde.

Kort- og Matrikelstyrelsen (1996): *Informationsmateriale til Digitalkort D/200 - vektor, Planlægningskort*, Kort- og Matrikelstyrelsen, København.

Nielsen, F. (1994): *Grafteori - Algoritmer og Netværk*, Matematisk Institut, Danmarks Tekniske Universitet, Lyngby.

Ortúzar, D., Willumsen, L.G. & Whiley, J. & Sons (1994): *Modelling Transport*, Second Edition, Chichester, England.

Rich, J.H. (1998): *ALTRANS - Adfærdsmodellen; Beskrivelse og dokumentation*, Faglig rapport (under udgivelse). Afdeling for Systemanalyse, Danmarks Miljøundersøgelser, Roskilde.

Spiegel, M.R. (1968): *Mathematical Handbook of Formulas and Tables*, McGraw-Hill Publishing Company, New York.

Trafikselskaberne, DSB, Amtsrådsforeningen (1996): *Billet til en bedre rejse - en trafikal vision for hele Danmark*, Udgivet af styregruppen for "Projekt Samarbejde Bus & Tog", København.

TR-Partner (1998): *TR-System*, Informationsfolder modtaget fra Traffic Partner A/S, Søren Frichs Vej, Åbyhøj.

Vejdirektoratet (1996): Telefonsamtaler med Per Andresen og Bo Møller Nielsen, Vejdirektoratet, marts 1996

Vejdirektoratet, Kort- og Matrikelstyrelsen (1995): *VejnetDK*, Teknisk dokumentation til disketter med *VejnetDK*, København.

Östman, A. (1997): *Att deklarerera och säkerställa kvalitet i geografiska data*, Indlæg til "Store Nordiske GIS-konference", Kolding, oktober 1997. Avd. för Geografisk Informationsteknik, Luleå Tekniska Universitet, Luleå.

Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser - DMU - er en forskningsinstitution i Miljø- og Energiministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning indenfor natur og miljø.

Henvendelser kan rettes til:

URL: <http://www.dmu.dk>

Danmarks Miljøundersøgelser
Frederiksborgvej 399
Postboks 358
4000 Roskilde
Tlf.: 46 30 12 00
Fax: 46 30 11 14

*Direktion og Sekretariat
Forsknings- og Udviklingssektion
Afd. for Atmosfærisk Miljø
Afd. for Havmiljø og Mikrobiologi
Afd. for Miljøkemi
Afd. for Systemanalyse*

Danmarks Miljøundersøgelser
Vejsløvej 25
Postboks 413
8600 Silkeborg
Tlf.: 89 20 14 00
Fax: 89 20 14 14

*Afd. for Sø- og Fjordøkologi
Afd. for Terrestrisk Økologi
Afd. for Vandløbsøkologi*

Danmarks Miljøundersøgelser
Grenåvej 12, Kalø
8410 Rønde
Tlf.: 89 20 17 00
Fax: 89 20 15 14

*Afd. for Landskabsøkologi
Afd. for Kystzoneøkologi*

Danmarks Miljøundersøgelser
Tagensvej 135, 4
2200 København N
Tlf.: 35 82 14 15
Fax: 35 82 14 20

Afd. for Arktisk Miljø

Publikationer:

DMU udgiver faglige rapporter, tekniske anvisninger, temarapporter, samt årsberetninger. Et katalog over DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter er tilgængeligt via World Wide Web.

I årsberetningen findes en oversigt over det pågældende års publikationer.

Faglige rapporter fra DMU/NERI technical reports

1997

- Nr. 209: Effekt af Tunø Knob vindmøllepark på fuglelivet. Af Guillemette, M., Kyed Larsen, J. & Clausager, I. 31 s., 45,00 kr.
- Nr. 210: Landovervågningsoplande. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1996. Af Grant, R., Blicher-Mathiesen, G., Andersen, H.E., Laubel, A.R., Grevy Jensen, P. & Rasmussen, P. 141 s., 150,00 kr.
- Nr. 211: Ferske vandområder - Søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1996. Af Jensen, J.P., Søndergaard, M., Jeppesen, E., Lauridsen, T.L. & Sortkjær, L. 103 s., 125,00 kr.
- Nr. 212: Atmosfærisk deposition af kvælstof. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1996. Af Ellermann, T., Hertel, O., Kemp, K., Mancher, O.H. & Skov, H. 88 s., 100,00 kr.
- Nr. 213: Marine områder - Fjorde, kyster og åbent hav. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1996. Af Jensen, J.N. et al. 124 s., 125,00 kr.
- Nr. 214: Ferske vandområder - Vandløb og kilder. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1996. Af Windolf, J., Svendsen, L.M., Kronvang, B., Skriver, J., Olesen, N.B., Larsen, S.E., Baattrup-Pedersen, A., Iversen, H.L., Erfurt, J., Müller-Wohlfeil, D.-I. & Jensen, J.P. 109 s., 150,00 kr.
- Nr. 215: Nitrogen Deposition to Danish Waters 1989 to 1995. Estimation of the Contribution from Danish Sources. By Hertel, O. & Frohn, L. 53 pp., 70,00 kr.
- Nr. 216: The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Report for 1996. By Kemp, K., Palmgren, F. & Mancher, O.H. 61 pp., 80,00 kr.
- Nr. 217: Indhold af organiske opløsningsmidler og phthalater i legetøj. Analytisk-kemisk kontrol af kemiske stoffer og produkter. Af Rastogi, S.C., Worsøe, I.M., Køppen, B., Hansen, A.B. & Avnskjold, J. 34 s., 40,00 kr.
- Nr. 218: Vandføringsevne i danske vandløb 1976-1995. Af Iversen, H.L. & Ovesen, N.B. 2. udg. 55 s., 50,00 kr.
- Nr. 219: Kragefuglejagt i Danmark. Reguleringen af krage, husskade, skovskade, råge og allike i sæsonen 1990/91 og jagtudbyttet i perioden 1943-1993. Af Asferg, T. & Prang, A. 58 s., 80,00 kr.
- Nr. 220: Interkalibrering af bundvegetationsundersøgelser. Af Middelboe, A.L., Krause-Jensen, D., Nielsen, K. & Sand-Jensen, K. 34 s., 100,00 kr.

1998

- Nr. 221: Pollution of the Arctic Troposphere. Northeast Greenland 1990-1996. By Heidam, N.Z., Christensen, J., Wåhlin, P. & Skov, H. 58 pp., 80,00 kr.
- Nr. 222: Sustainable Agriculture and Nature Values - using Vejle County as a Study Area. By Hald, A.B. 93 pp., 100,00 kr.
- Nr. 223: Ændringer i bekæmpelsesmidlernes egenskaber fra 1981-1985 frem til 1996. Af Clausen, H. 61 s., 45,00 kr.
- Nr. 224: Natur og Miljø 1997. Påvirkninger og tilstand. Red. Holten-Andersen, J., Christensen, N., Kristiansen, L.W., Kristensen, P. & Emborg, L. 288 s., 190,00 kr.
- Nr. 225: Sources of Phthalates and Nonylphenoles in Municipal Waste Water. A Study in a Local Environment. By Vikelsøe, J., Thomsen, M. & Johansen, E. 50 pp., 45,00 kr.
- Nr. 226: Miljøundersøgelser ved Maarmorilik 1997. Af Johansen, P., Riget, F. & Asmund, G. 35 s., 50,00 kr.
- Nr. 227: Impact Assessment of an Off-Shore Wind Park on Sea Ducks. By Guillemette, M., Kyed Larsen, J. & Clausager, I. 61 pp., 60,00 kr.
- Nr. 228: Trafikdræbte dyr i landskabsøkologisk planlægning og forskning. Af Madsen, A.B., Fyhn, H.W. & Prang, A. 40 s., 60,00 kr.
- Nr. 230: On the Fetch Dependent Drag Coefficient over Coastal and Inland Seas. By Geernaert, G.L. & Smith, J.A. 20 pp., 35,00 kr.
- Nr. 231: Mere brændstofeffektive køretøjer. CO₂-konsekvenser og samfundsøkonomi. Af Møller, F. & Winther, M. 74 s., 100,00 kr.
- Nr. 233: Anskydning af vildt. Status for undersøgelser 1997-1998. Af Noer, H., Madsen, J., Hartmann, J., Kanstrup, N. & Kjær, T. 61 s., 60,00 kr.
- Nr. 235: Effekten på sangsvane ved etablering af en vindmøllepark ved Overgaard gods. Af Larsen, J.K. & Clausen, P. 25 s., 35,00 kr.
- Nr. 238: Indikatorer for naturkvalitet i søer. Af Jensen, J.P. & Søndergaard, M. 39 s., 50,00 kr.