

# EN DISKUSSION AF DAGENS BRUG AF TRAFIKMODELLER - TEORI OG EMPIRI

Otto Anker Nielsen  
Institut for Veje, Trafik & Byplan (IVTB)  
Danmarks Tekniske Universitet (DTU)  
Bygning 115, 2800 Lyngby  
Telefon 45 25 15 14; Fax 45 93 64 12; Email [onielsen@ivtb.dtu.dk](mailto:onielsen@ivtb.dtu.dk)

## 1 INTRODUKTION

Historisk set er forskning i trafikmodeller en relativ ny videnskab, der først rigtig tog form i forbindelse med indførelsen af EDB-teknologien. De første trafikmodeller blev udviklet under hensyntagen til den relativt beskedne ydeevne af det anvendte EDB-udstyr. Siden da er der sket en betydelig teoretisk udvikling af modellerne og af den praktiske brug heraf. På trods af denne udvikling er det bemærkelsesværdigt så mange reminiscenser fra den tidlige modeludvikling, der findes i det praktiske arbejde med modellerne. Der er ofte et stort gab mellem de modeller, der er udviklet på det teoretiske niveau, og de modeller, der benyttes i praksis. Sidstnævnte er tit opbygget på en inkonsistent måde. Ofte benyttes mere eller mindre "tilfældige" delalgoritmer, der nu engang er implementeret i de som regel udenlandske EDB-programmer. Endda er mange af de brugte programmer så mangelfuldt dokumenteret, at brugeren ikke har en reel mulighed for kvalitativt at vurdere, hvordan trafikken modelleres.

Paperet sammendrager en række resultater fra Ph.D.-arbejdet i Nielsen (1994/2)<sup>1)</sup>. Dette viste bl.a., at der er et behov for en øget fokus på metoder til at kvalitetssikre modelberegninger, hvilket bekræftes af forfatterens erfaringer i forbindelse med forskellige større danske trafikmodelarbejder, samt studier af en række andre arbejder.

I dette paper klassificeres trafikmodeller efter deres anvendelsesformål (afsnit 2) og der gives en diskussion af turmønsterbeskrivelser (afsnit 3) samt en række eksempler på problemer med eksisterende modeltyper (afsnit 4). Afsnit 5 skitserer mangler ved eksisterende trafikmodelsoftware og der gives en introduktion til nye eller forbedrede modeltyper, som vil blive implementeret i et geografisk informationssystem (GIS) i forbindelse med IVTB's GIS-T projekt. Afsnit 6 giver en diskussion af, hvordan den danske praksis og forskning på trafikmodelområdet kan komme videre, herunder hvordan, der kan opnås en bedre udnyttelse af de teoretiske og praktiske landvindinger i Danmark såvel som udlandet.

## 2 KLASSIFIKATION AF TRAFIKMODELLER

Arbejdet med en trafikmodel startes som regel som følge af beslutningstageres ønske om at kunne konkretisere de trafikale konsekvenser af planforslag med betydning for trafikmønsteret. Før trafikmodellen formuleres, er det vigtigt, at fastlægge beslutningstageres forventninger til modellens pålidelighed. Hvis denne proces negligeres, er der stor sandsynlighed for, at modellen ikke formuleres og benyttes i overensstemmelse med forventningerne og

---

1) Med hensyn til en nærmere gennemgang henvises derfor til denne afhandling, der forhandles af IVTB, Anette Haack, tlf. 45 25 15 02.

modellens begrænsninger ikke klarlægges tilstrækkeligt tydeligt. I den forbindelse kan det fremhæves, at formålet med en trafikmodel sjældent alene er at modellere trafikstrømme på en så objektiv måde som muligt, men at der er en række 'skjulte' formål, der kan beskrives via de *rationelle, politiske og interaktive* principper (jvf. Handy, 1992):

- Ifølge det rationelle princip benyttes modellerne til at foretage en objektiv konsekvensberegning, og det optimale projekt vælges efter et givet kriterium. Det rationelle princip ser bort fra den komplekse politiske beslutningsproces, hvori infrastrukturinvesteringer indgår, samt, at en række sammenhænge ikke kan udtrykkes rationelt/deterministisk.
- Ifølge det politiske princip formuleres trafikmodeller for at understøtte og retfærdiggøre allerede tagne beslutninger eller for at hjælpe den enkelte beslutningstagers argumentation over for beslutningstagere med divergerende holdninger efter devisen (Handy, 1992, s.4); "*Computer generated forecasts take on the aura of certainty*". Richmond (1990) går så langt som til at kalde trafikmodeller for "*An expensive rubber-stamping ritual*".
- Det interaktive princip er et alternativ til de rationelle og politiske principper. Her betragtes trafikmodeller som et værktøj til at understøtte og hjælpe den politiske diskussion, hvori der dog også vil indgå en række ikke-kvantificerbare faktorer. Ifølge det interaktive princip påvirker modellerne beslutningsprocessen men er ikke alene bestemmende for den endelige beslutning.

Ud over anvendelsen til beslutningsstøtte kan trafikmodeller lære planlæggere og forskere nyt om trafikale sammenhænge. Dette kan dog også lede til fastlåste tankegange, hvilket Clausen (1969, s.30) formulerede på følgende måde:

*Den under konstruktionen erhvervede fortrolighed med modellen bevirker ofte, at man opdager nye og overraskende træk ved systemet; men den kan også bevirke, at man vænner sig til de begreber og begrebsrelationer der er nedlagt i modellen. I så fald kan resultatet være en stereotyp tænkemåde, der vil være en hæmsko både ved den aktuelle og ved eventuelle senere modelkonstruktioner.*

Dette er måske en forklaring på, at en række traditionelle modeltyper stadig hyppigt anvendes på trods af den teoretiske kritik heraf.

## 2.1 Beslutningstyper

Opbygningen af en trafikmodel afhænger primært af hvilke typer beslutninger, den skal understøtte. Der tales om *strategiske, taktiske* eller *operationelle* beslutninger:

- Strategiske beslutninger går typisk mange år frem i tiden og kræver langsigtede prognoser, der vil være behæftet med stor usikkerhed. Ofte vil det være hensigtsmæssigt at undersøge forskellige *scenarier*, så prognosernes usikkerheder indgår i beslutningsstøtten. Strategiske beslutninger omfatter oftest større geografiske områder som hele regioner.
- Taktiske beslutninger omfatter mindre markante planforslag og kortere tidshorisonter end de strategiske. Derfor vil trafikprognoser, der ligger til grund for taktiske beslutninger, kunne udføres mere detaljeret og resultaterne vil være behæftet med mindre usikkerhed. Ofte omfatter de taktiske beslutninger et mindre geografisk område end de strategiske.
- Operationelle beslutninger føres ud i livet umiddelbart efter, at de er taget, eksempelvis indførelsen af en ny busrute eller mindre omlægninger af trafiknettet. Operationelle beslutninger kræver et detaljeret beslutningsgrundlag, der ofte kun dækker et mindre geografisk område.

Ofte understøtter en trafikmodel flere beslutningsniveauer, hvilket kan nødvendiggøre en hierarkisk modelopbygning med flere aggregeringsniveauer.

## 2.2 Prognosemodeller

Hovedparten af litteraturen om trafikmodeller beskriver, hvordan trafikmodeller kan opstilles, så de så godt som muligt inden for de givne ressourcer kan beskrive *nutidssituationen*. At en model er i stand til dette, er en nødvendig men ikke tilstrækkelig forudsætning for, at den kan beskrive konsekvenserne af givne planforslag på kort og lang sigt.

Fremgangsmåden ved brug af trafikmodeller til prognoseformål er ofte, at modellen kalibreres i nutidssituationen, dens variable skønnes for en fremtidig situation, hvorefter den benyttes med disse ændrede variable. Ofte skønnes udviklingen af de forklarende variable ved forholdsvis grove metoder. Dette kan give et misforhold mellem de anstrengelser, der lægges i at kalibrere trafikmodellen i nutidssituationen, og de anstrengelser der lægges i at modellere de fremtidige konsekvenser. Andre problemer kan opstå, hvis trafikanternes præferencemønster ændres, hvorved modellens parametre ændres med tiden. Man bør derfor i højere grad foretage en tidsmæssig klassificering af prognosemodellerne efter *kortsigtede modeller*, der beskriver konsekvensen af et planforslag umiddelbart efter, at en ny trafikal ligevægt er indtruffet, og *langsigtede modeller*, der beskriver en fremtidig udvikling over flere år.

En meget brugt antagelse i trafikprognoser er, at trafikmodellens parametre er konstante med tiden. En række studier har imidlertid vist, at trafikmodellens parametre varierer forholdsvis meget fra analyseområde til analyseområde, fra land til land og vil ændre sig med tiden (Nielsen, 1994/2, kap. 6). Dette vil typisk skyldes forhold vedrørende holdninger, præferencer, adfærd, mode og erhvervsstrukturer, der er svære at analysere i en matematisk model.

Ny infrastruktur kan også påvirke den bymæssige og regionale udvikling som skitseret i figur 1<sup>1)</sup>. Selv om denne sammenhæng er særdeles vanskelige at beskrive (endsige modellere), bør der ikke ses helt bort fra dem ved opstilling af trafikmodeller for store planforslag. Dermed ikke sagt, at der skal opstilles et omfattende modelsystem herfor, men der bør heller ikke præsenteres et modelresultat med tre betydende cifre, hvis modellen ser bort fra interaktion mellem bystruktur og trafikmønster.

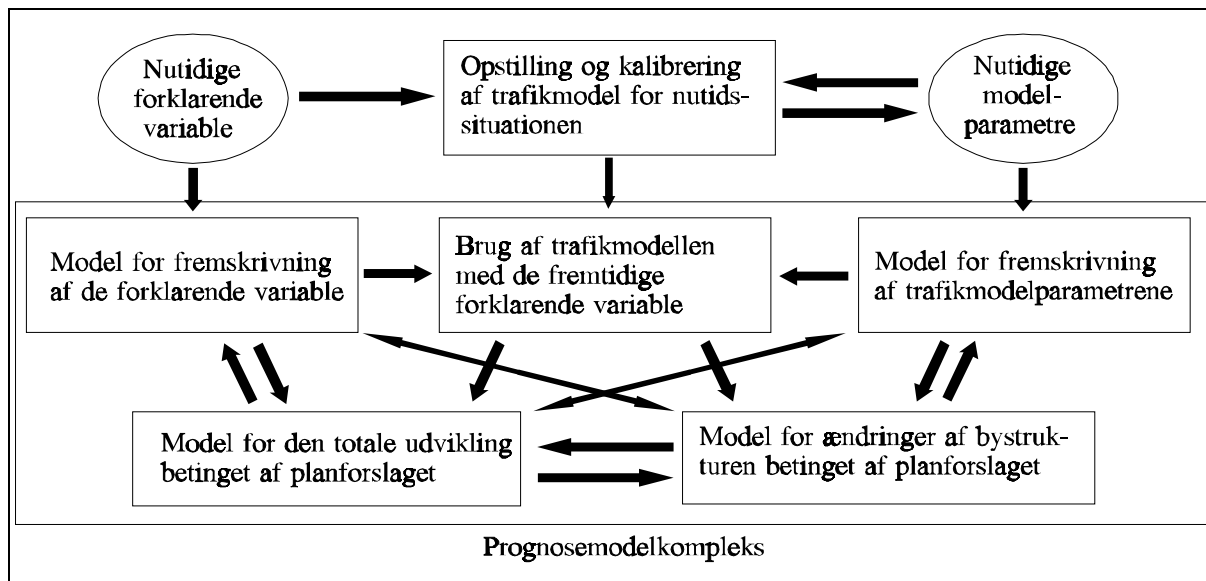
Schnaars (1987, s.105) giver følgende kritik af prognosemodeller, der kun giver ét bud på den fremtidige udvikling:

*For many years, it was widely believed that the greatest potential for obtaining accurate forecasts lay in the development of complex, quantitative models. It was thought that with just a little more time, a few more equations and a lot more dollars, these models would be able to provide forecasts that were much more accurate than those produced by more mundane methods. This has not turned out to be the case. A multitude of comparative forecasting studies has clearly shown that such models are usually no more accurate than much simpler approaches (Makridakis m.fl., 1982 & Armstrong, 1978).*

For at kunne give en bedre beslutningsstøtte og for bedre at kunne redegøre for de usikkerhedskomponenter, der er i prognoserne, bør forskellige scenarier for mulige udviklingsforløb undersøges og konkretiseres (Jørgensen & Leleur, 1994, s.306). De enkelte scenarier kan bestå af forholdsvis simple fremskrivninger af data, eller de kan være mere omfattende prognosemodeller (f.eks. T-ATV projektet, 1977 og Steen, 1994). Schnaars (1987, s.106) giver

---

1) Kim m.fl. (1989), Bertuglia m.fl. (1990) og Meyer & Miller (1984, s.184-201) beskriver forskellige modeller for byudvikling. Ortúzar & Willumsen (1990, afsnit 13.2.5) rummer en række andre referencer til modeller af denne type.



**Figur 1** Skitse af sammenhænge i et modelsystem for udviklingseffekt.

følgende begrundelse for brug af scenarier:

*The idea of providing multiple forecasts has become a cornerstone of scenario analysis. It is an explicit recognition of the frailty of forecasting, and the importance of underlying assumptions. It suggests that a forecast is only as accurate as its underlying assumptions, and that it makes more sense to consider a number of plausible assumptions, rather than a single one which may later turn out to be incorrect".*

Meyer & Miller (1984, s.203) opsummerer fordelene ved brug af scenarier til:

- *They are inexpensive and quick to construct relative to model forecasts.*
- *Because they are less costly, a wider range of future states can typically be examined than in the case of model forecasts.*
- *They often represent the only technique available when lack of data and/or theory renders model forecasting impossible.*
- *They may encourage the analyst to think deeply and imaginatively about future system states and interactions in a way which the more mechanistic process of model forecasting may not.*

### 3 TURMØNSTERBESKRIVELSE

#### 3.1 Estimering, kalibrering og validering af trafikmodeller

Begreberne kalibrering og estimation af trafikmodeller opfattes meget forskelligt i trafiklitteraturen. I Nielsen (1994/2) er det valgt at benytte følgende definitioner (se også Easa, 1991, US.DOT., 1990, samt NCHRP, 1994):

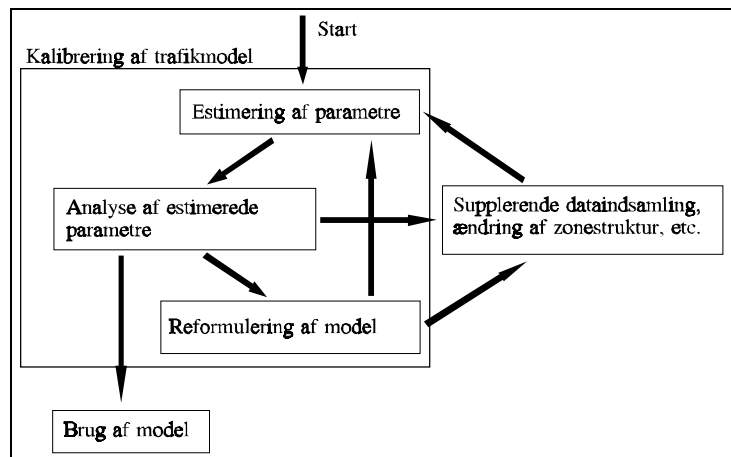
- *Estimationen er selve den matematiske estimationsproces, f.eks. en regressionsanalyse.*
- *Kalibreringen er den samlede tilpasning af modellen til datagrundlaget (jvf figur 2).*

Disse definitioner understreger, at det ikke er nok at estimere en model, så den matematisk er i stand til at reproducere datagrundlaget, men at det kræver en yderligere vurdering (kalibrering) at sikre, at modellens struktur og størrelsesorden af dens parametre virker logisk.

Efter at trafikmodellen er kalibreret, *valideres* den ved forskellige testkørsler (se Nielsen, 1994/2, s.2.23).

Et af de største problemer i forbindelse med trafikmodeller er, at modellernes turmønsterbeskrivelse som regel er langt mere omfattende end de observationer, der benyttes til at estimere, kalibrere og validere modellerne. Derfor vil en model kunne reproducere observationer (hvad enten der er tale om snittællinger, ældre turmatricer,

interviews eller forskellig empirisk viden), selv om modellen reelt ikke svarer til det virkelige turmønster. Dette gives der en række eksempler på i Nielsen (1994/2). Ofte vil der kunne opnås bedre modelresultater, hvis der benyttes færre ressourcer på indsamling af data og flere ressourcer på at opbygge en tilfredsstillende matematisk model. En yderligere detaljering af datagrundlag og geografisk opdeling af trafikmodeller samt indsamling af empirisk viden om trafikken i det aktuelle analyseområde kan ikke ændre afgørende på problemer, der skyldes logiske brister i modeludtrykkene.



Figur 2 Kalibrering af trafikmodel.

### 3.2 Interviewbaserede analyser

De mest detaljerede oplysninger om trafikanternes rejsevaner kan opnås ved at benytte forskellige typer interviewundersøgelser. Overordnet findes følgende analysetyper:

- *Revealed Preference (RP) analyser* bygger på observerede turmønstre (Ortúzar & Willumsen, 1990, s.22). Metoden rummer en række problemer, bl.a. er det svært at tage højde for forskellige faktorer, der er korrelerede; benyttes et hurtigt transportmiddel med høj komfort er det f.eks. svært at fastlægge, om dette valg skyldes hurtigheden, komforten eller begge. Ligeledes er det svært at beskrive valgsituationer, der ikke eksisterer i dag, eksempelvis anlæg af en bybane.
- I *Stated Preference (SP) analyserne* spørges om, hvordan der vil reageres på hypotetiske situationer<sup>1)</sup>. Ved brug af SP-teknikken er det muligt at formulere spørgsmålene, så korrelerede variable kan isoleres og derved estimeres mere præcist. Et problem ved SP-analyserne er, at det ikke er sikkert, at trafikanterne, når det kommer til stykket, vil reagere, som de har svaret i interviewet; I Nielsen (1994/2, kap 7) refereres undersøgelser, der netop viser dette. I de senere år er der udviklet teknikker for at mindske dette problem, f.eks. kan EDB-baserede spørgemetoder løbende justere spørgsmålene for at klarlægge inkonsistente svar. Bates (1994) rummer dog en kraftig kritik af denne fremgangsmåde.

1) Se Hensher (1994). I Danmark er metoden bl.a. benyttet i Jovicic (1994) og COWIconsult (1995, 1 & 2).

For at undgå ulemperne ved den enkelte metode<sup>1)</sup> vil det ofte være hensigtsmæssigt at kombinere de to metoder<sup>2)</sup>. I Danmark kombinerer Lei m.fl. (1994) interviews af generel, hypotetisk og holdningsmæssig karakter med spørgsmål for belysning af konkret rejseadfærd.

### 3.3 Korrelerede variable

Ulogiske fortegn og signifikansproblemer i trafikmodeller skyldes ofte, at der indgår korrelerede variable i modeludtrykkene (Brix & Nielsen, 1990). For at undgå sådanne problemer kan det være nødvendigt at estimere modellen trinvist. Dette er f.eks. tilfældet for myldretidsmodellen i den nye Hovedstadstrafikmodel, hvor Anders Nyvig A/S har valgt først at fastlægge rejsemotstandsudtrykket, hvorefter det samlet indgår som en variabel i en simultan trafikmodel (jvf. referencegruppe møde, d. 21/6-95).

### 3.4 Estimation af trafikmodeller ud fra snittællinger

Traditionelt bliver trafikmodeller estimeret på basis af rejsevaneundersøgelser. Først i sidste led af arbejdsprocessen sammenlignes modellens resultater med talte trafikmængder. Denne fremgangsmåde rummer en række ulemper:

- Fremgangsmåden er som regel kostbar, fordi det er nødvendigt med et stort antal interviews for at opnå en rimelig beskrivelse af turmønstret i et givet analyseområde.
- Traditionelle trafikmodeller tager sjældent lokale karakteristika i betragtning, idet model-udtrykkene kun indeholder få aggregerede socioøkonomiske data som forklarende variable.
- En stor del af det tilgængelige datamateriale i form af snittællinger og ældre turmatricer benyttes ikke til estimeringen af modellen, men kun til den efterfølgende kontrol af resultaterne.

I de senere år har der derfor været en stigende interesse for alternative metoder, der kan estimere trafikmodeller eller turmatricer direkte ud fra snittællinger; eventuelt i kombination med brugen af rejsevaneundersøgelser og som regel med udgangspunkt i ældre turmatricer. Sådanne metoder bør i modsætning til de fleste hidtidige metoder (f.eks. den udbredte ME2-metode samt raffineringer heraf) bygge på følgende forudsætninger:

- Hvis der benyttes en uhensigtsmæssig rutevalgmodel som en del af matrixestimationsmetoden, vil der blot estimeres en turmatrix, der reproducerer snittællingerne, hvis den fordeles på trafiknettet efter den givne rutevalgmodel. Dette er ikke ensbetydende med, at de herved modellerede trafikstrømme svarer til de virkelige strømme, ligesom turmønstrebeskrivelse i turmatricen næppe vil svare til det virkelige turmønster.
- Hvis der ikke tages højde for, at snittællingerne er stokastiske og muligt inkonsistente, giver det anledning til problemer i metoden. I værste fald kan de estimerede turmønstre blive det rene nonsens.

---

1) Se Jovicic m.fl. (1994) og Thorpe & Hills (1992), der diskuterer fordele og ulemper ved hhv. SP- og RP-teknikkerne. Bradley & Daly (1993) startede en kritisk diskussion af SP-teknikken, der fortsættes af Bates (1994). Widlert (1994) viser for en række konkrete SP-analyser, at formuleringen af spørgsmålene har stor betydning for resultatet af analysen (selv ved meget små justeringer af spørgsmålene). Bradley & Daly (1994) og Ortúzar & Garrido (1994) diskuterer mere tekniske problemer, mens Gärling (1994) viser, at der er en række teoretiske svagheder ved de modeludtryk, der ligger bag mange interviewbaserede trafikmodeller

2) Se Bradley & Kroes (1990), Bradley & Daly (1991), Swait m.fl. (1994) og Morikawa (1994) for en gennemgang af metoder herfor.

I Nielsen (1994/2, kap 8) udledes en ny metode, MPME, der er i stand til at undgå ovennævnte problemer (se også Nielsen, 1994/1). Det blev vist, at re-estimering af turmatricer fra den gamle og nye Hovedstadstrafikmodel samt to modeller for Næstved var i stand til at give en bedre turmønsterbeskrivelse samt en markant reduktion i afvigelserne fra talte trafikmængder.

## 4 EKSEMPLER PÅ PROBLEMER VED EKSISTERENDE MODELTYPER

### 4.1 Om valgmodeller

I forbindelse med mange trafikmodeltyper anføres det som et problem, at modellerne ikke kan tage højde for nye typer transportmidler. Modeller, hvori der er indbygget korrektionsfaktorer for det enkelte transportmiddel, eller hvor der indgår parametre, der estimeres eksplicit for det enkelte transportmiddel, kritiseres herfor. Modeller, der derimod kun afhænger af deterministisk målelige variable, vil være at foretrække. Hvis en model skal overholde sådanne rationelle kriterier, må følgende gælde:

- Såfremt rejsemodstandene for to transportmidler er ens, vælges de af lige mange trafikanter.
- Hvis en given brøkdel af trafikanter vælger ét transportmiddel frem for et andet, er denne brøkdel konstant, også hvis der introduceres nye transportmidler.

Mange modeller for transportmiddelvalg (herunder forskellige logitmodeller) overholder disse betingelser, der imidlertid rummer en række problemer:

Den første betingelse hævder, at såfremt rejsemodstandene for to transportmidler er ens, vælges de af lige mange trafikanter. Dette kan imidlertid kun gælde, hvis svært kvantificerbare faktorer vedrørende komfort, regularitet, image, fleksibilitet, m.v. indgår eksplicit i udtrykket for rejsemodstanden. Et andet problem ved betingelsen er, at den ikke tager hensyn til størrelsen af rejsemodstandene, men kun til forholdet mellem dem; Et valg mellem cykel og bus vil formentligt ikke være det samme, hvis rejsetiderne er 15 min. for begge transportmidler eller 1 time for begge transportmidler. Dette kan dog også undgås ved formuleringen af udtrykket for rejsemodstanden.

Den anden betingelse har i højere grad været til debat i litteraturen. Betingelsen betegnes ofte som aksiomet om uafhængighed af irrelevante alternativer (*Independence of Irrelevant Alternatives, IIA*), der kan formuleres som<sup>1)</sup>:

*Where any two alternatives have a non-zero probability of being chosen, the ratio of one probability over the other is unaffected by the presence or absence of any additional alternative in the choice set.*

Såfremt alternativerne virkelig er uafhængige, er denne betragtning naturligvis korrekt; Indførslen af et nyt transportmiddel får jo ikke et af de tidligere transportmidler til at være bedre eller dårligere i forhold de andre. Imidlertid er transportmidler sjældent uafhængige eller helt afhængige. Kunne der tidligere kun vælges mellem bil og bus, vil en ny bybane næppe

---

1) Jvf. Luce, 1959. Også Luce & Suppes (1965), Andersen (1976), Kanafani (1983, s.133), Ben-Akiva & Lerman (1985, s.108-111) samt Ortúzar & Willumsen (1990, s.185) beskriver dette aksiom.

vælges lige hyppigt uafhængig af om man tidligere benyttede bil eller bus<sup>1)</sup>. IIA-aksiomet kan give problemer ved brug af logitmodeller, mens simultane modeller og probitmodeller ved passende formuleringer lettere kan undgå at følge dette aksiom.

## 4.2 Nytteteoretiske modeller

En række valgmodeller kan udledes efter en forudsætning om, at et givent valg  $P(k)$  bygger på en deterministisk komponent  $u_k$ , der beskriver *nyttens* af det pågældende valg, og en stokastisk komponent  $\epsilon_k$ , der udtrykker sammenhænge, der ikke direkte kan måles, ikke kan beskrives på grund af manglende empirisk viden, eller varierer for forskellige personer. Den samlede nytte  $U_k$  er summen af de to komponenter:

$$U_k = u_k + \epsilon_k \quad (1)$$

Da  $U_k$  rummer en stokastisk komponent, kaldes modeller, der bygger på denne teori, også *stokastisk nytteteori* (*random utility theory*, jævnfør Bovy & Stern, 1990, s.179-200). Udledningen af modeller på basis af nytteteoretiske betragtninger forudsætter at trafikanter kan opfattes som en homogen gruppe, der handler rationelt og har fuldt kendskab til trafiksystemet, med mindre det modsatte formuleres eksplicit som en modelforudsætning (Wilson, 1970). Ofte holder denne antagelse ikke i praksis, eksempelvis fordi trafikanterne har forskellige formål med turen, eller fordi de har forskellige muligheder. Derfor bør trafikanterne opdeles i en række homogene grupper efter turformål, biladgang, etc. COWIconsult (1995/2) opdeler eksempelvis efter såkaldte 'bilelskere' eller ej.

Hvis  $\epsilon_k$ 'erne i formel (1) følger en normalfordeling, kan den såkaldte probitmodel udledes<sup>2)</sup>. Den største svaghed ved modellen er, at den er forholdsvis vanskelig at benytte rent matematisk. Derfor er modellen kun sjældent blevet brugt i praktisk modelarbejde (se dog Yai & Iwakura, 1994 og Morikawa & Sasaki, 1994). Med dagens computerkraft burde dette problem dog være mindre end hidtil, og problemet er nok snarere, at der ikke findes let anvendeligt trafikmodelsoftware herfor.

Hvis  $\epsilon_k$ 'erne i formel (1) i stedet antages at følge en *Gumbelfordeling*<sup>3)</sup> i stedet for normalfordelingen som i probitmodellen, kan der udledes en model, logitmodellen, der er langt

---

1) I litteraturen er IIA-problemet ofte illustreret med det mere ekstreme eksempel, hvor det nye transportmiddel er blå busser som supplement til de gamle røde busser (Mayberry, 1973, Ben-Akiva & Lerman, 1985, s.52 og Ortúzar & Willumsen, 1990, s.166) eller med blå og røde biler (Andersen, 1980, s.211-228).

2) Jvf. Kanafani (1983, s.124-128) og Sheffi (1985, s.266-269). Ved mere end to transportmidler, er modellen vanskelig at benytte, idet den da kun kan løses ved brug af avancerede iterative metoder eller Monte Carlo simulation. Sheffi (1985, s.268-269) beskriver fremgangsmåder herfor (se også Sheffi m.fl., 1982), mens Kanafani (1983, s.124-128) giver et eksempel på en tilnærmelsesmetode, der oprindeligt blev formuleret af Clark (1961).

3) Også kaldet  $MAX_I$ -fordelingen. Grafen herfor minder en del om Normalfordelingen (jvf. Nielsen, 1994/2, app. 1.2.4 samt Andersen, 1980, s.207).



lettere at behandle matematisk (Kanafani, 1983, s.129 og Sheffi, 1985, s.265). Logitmodellen i sin simpleste form udledes under en forudsætning om, at de enkelte alternativer er uafhængige, til (McFadden, 1974):

$$P(k) = \frac{e^{-\beta \cdot c_k}}{\sum_m e^{-\beta \cdot c_m}}, \quad (2)$$

hvor  $P(k)$  er sandsynligheden for at vælge et givent alternativ  $k$ , hvor  $m$  beskriver alle alternativer.  $c_k$  er rejsemodstanden for det givne alternativ og  $\beta$  er en modelparameter.

Hvis antagelsen om uafhængighed, er opfyldt, giver de to modeller stort set samme resultater (Andersen, 1980, s.207 & Kanafani, 1983, s.131). Ofte holder denne antagelse imidlertid ikke i praksis, hvorved probitmodellen bør foretrækkes (Ortúzar & Willumsen, 1990, s.187 og Kanafani, 1983, s.130). Ofte modificeres logitmodellen på forskellige måder for at håndtere denne situation; f.eks. ved brug af de såkaldte hierarkiske logitmodeller. Kanafani (1983, s.133) giver en skarp kritik heraf:

*Modifications in the formulation of the logit model are possible in order to overcome this weakness. But, whenever there are similar alternatives so that the independence of irrelevant alternative is limiting, then the probit model, which does not have this property, should be used.*

Er der imidlertid empirisk grundlag til stede for at udelukke nogle af kovarianserne, har de hierarkiske logitmodeller den fordel, at de er lettere at behandle matematisk, og at der findes trafikmodelsoftware til brug heraf (f.eks. ALOGIT modellen). Ligeledes kan det i visse tilfælde hævdes, at en hierarkisk model i højere grad afspejler trafikanternes valgmonster.

Formuleringen af rejsemodstandsfunktionen  $C_k$  (eller mere bredt nyttefunktionen  $U_k$ , hvor  $C_k = -U_k$ ) er kritisk for resultatet af valgmodellen, hvad enten denne er af logit- eller probit-typen. Ofte benyttes der lineære udtryk for rejsemodstande i logitmodellerne af typen:

$$-u_k = c_k = \alpha_1 \cdot c_{k1} + \alpha_2 \cdot c_{k2} + \dots + \alpha_{kn}, \quad (3)$$

hvor den sidste parameter  $\alpha_{kn}$  normalt bør udelades, da den ikke er uafhængig af trafiknettets topologi.

Grunden til den hyppige anvendelse af lineære nyttefunktioner er, at de er lette at estimere matematisk og at det er let at udregne egenelasticiteter og krydselasticiteter (se Andersen, 1980, s.217, Kanafani 1985, s.134 og Ortúzar & Willumsen, 1990, s.186). Tabel 1 viser et eksempel på estimerede sandsynligheder for valg af transportmiddel ved brug af en binær logitmodel med én variabel i nyttefunktionen; rejsetiden. Som det ses af tabellen, er der ved brug af den lineære nyttefunktion samme sandsynlighed for valg af transportmiddel, hvad enten rejsetiderne for de to transportmidler er hhv. 5 og 15 min. eller 500 og 510 min. Resultaterne ændres markant, hvis der i stedet benyttes en logaritmisk nyttefunktion ( $u_k = -\beta \ln(t)$ ). Således kan den praksis, hvor

| Transport-middel | $P(k)$ , lineær nyttefunktion | $P(k)$ , logaritmisk nyttefunktion, |
|------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Bil, 5 min.      | 98,2 %                        | 98,2 %                              |
| Tog, 15 min.     | 1,8 %                         | 1,8 %                               |
| Bil, 500 min.    | 98,2 %                        | 51,8 %                              |
| Tog, 510 min.    | 1,8 %                         | 48,2 %                              |

**Tabel 1** Sandsynlighed for valg af transportmiddel ved lineær ( $\beta=0,4$ ) og logaritmisk ( $\beta=3,64$ ) nyttefunktion.

der ved brug af den lineære nyttefunktion samme sandsynlighed for valg af transportmiddel, hvad enten rejsetiderne for de to transportmidler er hhv. 5 og 15 min. eller 500 og 510 min. Resultaterne ændres markant, hvis der i stedet benyttes en logaritmisk nyttefunktion ( $u_k = -\beta \ln(t)$ ). Således kan den praksis, hvor

nyttefunktionen nærmest per definition er lineær, ofte give ringere og mere urealistiske resultater, end hvis der benyttes andre nyttefunktioner<sup>1)</sup>.

Ovenfor blev nytteteorien beskrevet for en valgsituation, hvor det på forhånd var givet, at der skulle foretages en tur. Herved ses der bort fra sammenhængene mellem det totale antal ture, valg af transportmiddel og rejsemønstrene for turene. I de såkaldte mikroøkonomiske modeller udvides nytteteorien til at beskrive mere komplicerede adfærdsmønstre<sup>2)</sup>. Gärling (1994, s.118) giver en skarp kritik af mikroøkonomiske modeller, idet han viser, at teorien bygger på en række mangelfulde antagelser i forhold til adfærdsforskningen og psykologisk forskning:

*In summary, microeconomic theory is both a false and incomplete description of how people make choices. Therefore, it is an inappropriate theoretical basis of travel-choice modelling. In particular the theory fails to account for (1) that choices are often part of plans; (2) that people show systematic biases in acquiring, representing, and using information on which choices are based; (3) that choices or preferences are inconsistent; (4) that the concept of utility refers to many different entities, not all of which are related to an egoistic motive; and (5) that choices are implemented through a process which sometimes entails developing habits.*

Derudover anfører Gärling (s.117) med hensyn til formuleringen af nyttefunktioner, at:

*Microeconomic theory is also incomplete. Neither does it specify what utility is (apart from a hypothetical variable lacking any other theoretical meaning), nor how it is maximized by the decision maker (if he is not an econometrician).*

Gärlings kritik omfatter generelt mikroøkonomiske modeller, men vil gælde med ekstra vægt for de traditionelle logitmodeller, da de rummer en række simplifikationer i forhold til mere generelle mikroøkonomiske modeller.

Som modargument til kritikken af de mikroøkonomiske modeller kan det hævdes, at der kun i begrænset omfang er formuleret praktisk anvendelige alternative metoder. Modellerne kan være et kvantitativt værktøj til at overskue en kompliceret problemstilling, men de bør kun supplere og ikke erstatte kvalitative vurderinger.

### 4.3 Totaltrafikmodeller

I 1960'erne opstod der et ønske om at kunne beregne de trafikale konsekvenser af større infrastrukturprojekter. I den forbindelse blev det erkendt, at de sekventielle trafikmodeller var uegnede til dette formål, da de har svært ved at beskrive den trafik, der bliver genereret som følge heraf (Manheim, 1973). Alligevel benyttes sekventielle modeller selv i dag hyppigt til vurdering af strategiske planforslag over både kort og lang sigt.

---

1) I Ortúzar & Willumsen (1990, s.204-206) behandles formuleringen af nyttefunktionen mere systematisk og der gives referencer til metoder til at beregne elasticiteter og krydselasticiteter for logaritmiske nyttefunktioner samt nyttefunktioner, der både rummer logaritmiske og lineære led. Se også Ben-Akiva & Lerman (1985).

2) Mikroøkonomiske modeller blev oprindeligt udviklet af økonomer (Becker, 1965, De Serpa, 1971, Evans, 1972) men er siden også blevet udviklet til at beskrive rejseadfærd (Train & McFadden, 1978, Truong & Hensher, 1985, Bates, 1987 og Jara-Díaz & Farah, 1987). Jara-Díaz (1994) giver en "state of the art" gennemgang og diskussion af modellerne, mens Kraan (1994) diskuterer opbygningen af nyttefunktioner for tidsforbrug.

Som alternativ til den sekventielle model er der udviklet en ny modeltype, den simultane trafikmodel. En sådan model opfylder en række samtidige (*simultane*) betingelser, der beskriver relationer mellem trafiksystemet og rejseefterspørgsel. De simultane modeller bygger som mange økonomiske teorier på en antagelse om, at der vil være en balance mellem udbud (trafiknettets kvalitet udtrykt ved rejsemodstande) og efterspørgsel (udtrykt ved socioøkonomiske oplysninger om befolkningen og virksomheder). Derfor betegnes de simultane modeller ofte som efterspørgselsmodeller. I modsætning til de mikroøkonomiske modeller, der udledes ud fra antagelser om det enkelte individs adfærd (nyttfunktion), bygger de simultane modeller således i teorien på en overordnet makroøkonomisk indgangsvinkel. Mange af de simultane trafikmodeller er dog blot opstillet ud fra nogle rent heuristiske betragtninger og kan derfor næppe tolkes ud fra et makro-økonomisk synspunkt. Modellerne søger en generel statistisk beskrivelse af trafikken snarere end at klarlægge årsagssammenhænge for det enkelte individ.

De simultane modeller er efterhånden blevet forbedret betragteligt. Det er i øvrigt bemærkelsesværdigt, at der også er gjort forsøg med at udvide logit-modeller til at beskrive turfordeling og transportmiddelvalg (se Ortúzar & Willumsen, 1990, s.165 og Williams, 1977 og Williams & Senior, 1977), og at sådanne modeller svarer til nogle af de simultane modeller (eller omvendt). Man bør derfor nok snarere tale om modeller for både turproduktion, turfordeling og transportmiddelvalg, kaldet totaltrafikmodeller.

I Danmark er der forholdsvis få erfaringer med simultane modeller. Andersen (1976), Brix & Nielsen (1990) og Anders Nyvig A/S (1994) rummer eksempler på succesfulde anvendelser af modellerne, mens Larsen (1994) beskriver en anvendelse, hvor modeltypen rummer problemer. Der forsøges anvendt en simultan model til den nye Hovedstadstrafikmodel for myldretidstrafik.

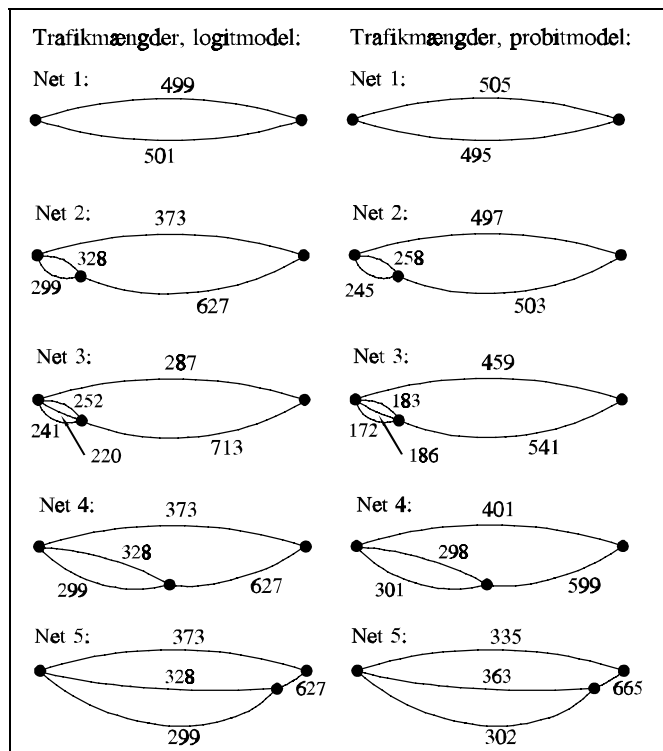
En anden udvikling af modeller bygger på de såkaldte supernetværk, hvor som minimum transportmiddelvalg og rutevalg, men sommetider også turproduktion og turfordeling betragtes under ét (Sheffi & Daganzo, 1978 samt Sheffi, 1985). Disse modeller vil kunne behandle komplicerede trafikale sammenhænge, herunder turkæder og trafikken i net med kapacitetsproblemer, på en mere konsistent måde. Det er først inden for de senere år, at EDB-teknologien kombineret med Geografiske Informationssystemers faciliteter for databehandling, har gjort det muligt at arbejde med fuld-skala modeller af denne type, og der mangler stadig en betydelig forskning før modellerne vil være brugbare i praksis.

#### **4.4 Modeller for rutevalg**

Når trafikken stiger på en given strækning, falder trafikanternes hastigheder. En af hovedinddelingerne af rutevalgsmodeller er, hvorvidt de tager hensyn hertil (*trafikafhængige modeller*) eller ej (*ikke-trafikafhængige modeller*). En anden hovedinddeling er, hvorvidt modellerne tager hensyn til, at trafikanterne af forskellige årsager benytter forskellige ruter mellem to givne lokaliteter (*stokastiske modeller*) eller ej (*deterministiske modeller*).

Den væsentligste konklusion på Nielsen (1994/2) er, at et givet datagrundlag kan udnyttes langt bedre ved at benytte en rutevalgsmodel, der svarer til trafikanternes turmønster. I mange tilfælde bør man, hvis en given trafikmodel ikke har den ønskede nøjagtighed, snarere forbedre rutevalgsmodellen heri, fremfor blot at indsamle supplerende data af bedre kvalitet. Med hensyn til de enkelte typer af rutevalgs modeller var de væsentligste konklusioner:

- At de deterministiske modeller som regel bør undgås; også hvis de er kapacitetsafhængige.
- At der for biltrafiknet næsten altid bør vælges en rutevalgsmodel, der både tager hensyn til trafikens stokastiske karakter og hastighedernes trafikafhængighed.
- At stokastiske rutevalgsmodeller bør være af probit-typen snarere end af logit-typen, der har en række teoretiske svagheder<sup>1)</sup>. Figur 3 giver et simpelt eksempel på resultatet af stokastiske rutevalgsmodeller af logit- og probit-typen.
- At den stokastiske del af rutevalgsmodeller udover variation af de enkelte rejsemodstande også bør tage hensyn til forskelle på de enkelte trafikanters præferencer. Dette er ikke tilfældet i de hidtidige rutevalgsmodeller.
- At parametrene i rejsemodstandsfunktionen (speed-flow kurven) bør fastlægges for den enkelte strækning eller for de enkelte strækningstyper eventuelt ved brug af GIS-baserede metoder.
- At der i detaljerede trafiknet bør tages hensyn til tidsforbruget i knudepunkter.



**Figur 3** Sammenligning af stokastiske rutevalgsmodeller af logit- og probit-typen for rutevalg for forskellige simple testnet.

#### 4.5 Sammenhæng mellem modeltrin

Ofte gennemgås rutevalgsmodeller (eller rettere assignment modeller) i trafiklitteraturen som det trin, hvor en modelleret OD-matrix fordeles på trafiknettet. Imidlertid har rutevalgsmodellerne tre hovedfunktioner:

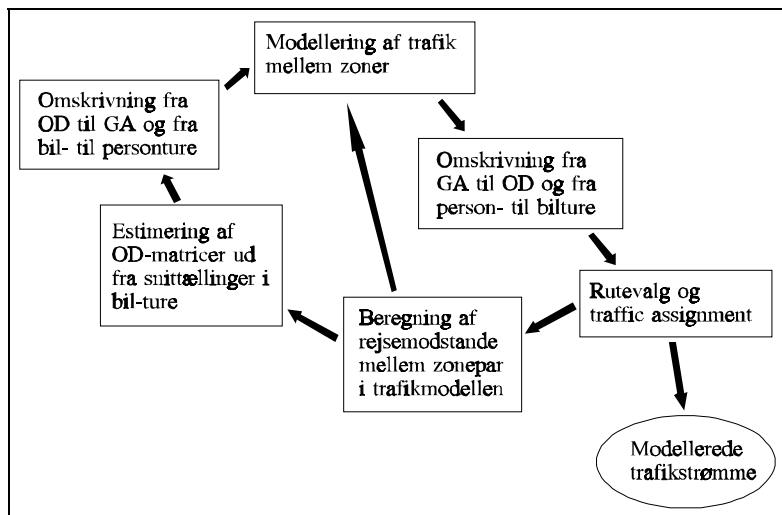
- Fordeling af OD-matricer på trafiknettet.
- Modelling af rejsemodstande mellem trafikmodellens zonepar, som input til modeller for turproduktion, turfordeling og transportmiddelvalg.
- Modelling af rutevalg i modeller for estimering af turmatricer ud fra snittællinger.

Figur 4 illustrerer sammenhængen mellem rutevalgsmodellen og den øvrige trafikmodelprocess. De enkelte modeller er afhængige af hinanden: Modellen for trafik mellem zoner kalibreres måske ud fra en OD-matrix, der er modelleret ud fra snittællinger. Rejsemodstandene i begge disse modeller bør som regel afhænge af trafikbelastninger på trafiknettet, der igen afhænger af rutevalg og traffic assignment og dermed af modellerede trafikmængder mellem zoner.

Ofte benyttes nogle faste rejsemodstande som input til modelleringen af trafik mellem zoner. Dette kan være problematisk i forbindelse med trafiknet med en stor trafikbelastning,

1) IIA-aksiomet giver i særlig høj grad problemer fordi ruter ikke er uafhængige, hvis de deler strækninger (Kanafani, 1983, s.131-132 og Nielsen, 1994/2, kap. 7). Rutevalgsmodeller af probit-typen er praktisk anvendelige ved brug af en simuleringmetode beskrevet i Sheffi (1985), der udbygges i Nielsen (1994/2, afsnit 7.3.5).

og hvor rejsemønstrene mellem zonepar derfor afhænger af trafikstrømmene. En anden løsning er at benytte en eller anden form for iterativ algoritme. Imidlertid vil en sådan ikke nødvendigvis være konvergent. Den såkaldte successive gennemsnits metode (bla. andet beskrevet i Sheffi, 1985) er med succes anvendt for et samlet modelkompleks i Willumsen m.fl. (1993). Se Boyce m.fl. (1994) for en grundigere gennemgang af sammenhængen mellem modeltrin.



**Figur 4** Sammenhæng mellem forskellige modeltrin.

#### 4.6 Modeller til omregning mellem GA- og OD-data på person- eller biltursniveau

Data i trafikmodeller foreligger som regel på forskellige former. Eksempelvis arbejder modeller for trafik mellem zoner som regel på GA- og persontursniveau, mens modeller for rutevalg samt metoder til estimering af turmatricer ud fra snittællinger som regel arbejder på OD-niveau og på enten personturs- eller biltursniveau. Derfor er det nødvendigt at kunne foretage omskrivninger mellem de forskellige typer data (Nielsen, 1994/2, kap. 9). Ofte ofres alt for få ressourcer på denne proces; Eksempelvis omregnes person-trafik ofte til biltrafik ved multiplikation med en enkelt faktor for hele modellen, upåagtet at denne faktor varierer en hel del for forskellige trafikantgrupper og turformål.

### 5 MANGLER VED DE TILGÆNGELIGE SOFTWARE-PAKKER

Eksisterende software-pakker på trafikmodelområdet har en række mangler. Ofte er metoderne fastlåste og programmerne mangler fleksibilitet. Således er det ofte nødvendigt at benytte forskellige programmer til operationel, taktisk og strategisk planlægning. Ud over egentlige faglige mangler, er det ofte besværligt at overføre data mellem forskellige programmer, og det er besværligt at redigere, analysere og foretage kvalitetskontrol af data<sup>1)</sup>. Endelig synes trafikmodellerne både fagligt og EDB-mæssigt kun mangelfuldt koordineret med øvrige modeller for trafikkonsekvenser og beslutningsstøtte. GIS-T projektet ved IVTB søger at afhjælpe disse mangler ved at udvikle og implementere trafikmodeller i et geografisk informationssystem (se Nielsen, 1994/3 og 1995/1 & 2 samt Nielsen & Jacobsen, 1995), der vil kunne hjælpe til at:

1) Den danske TMM-model er derfor udviklet for trafikplanlægning i kommuner (Johannesen og Block, 1994) i erkendelse af, at det for mange kommuner vil være for besværligt at benytte standard trafikmodelsoftware.

- Indsamle og håndtere data takket være den øgede koordinering og standardisering af offentlige og private registre.
- Lette opbygningen af sammenhænge mellem zoner, knuder, svingbevægelser, strækninger og for kollektiv trafik endvidere ruter, skift og terminalpunkter i trafikmodeller.
- Koordinere forskelligartede beregningsmodeller på en sammenhængende måde.
- Give muligheder for en sammenhængende analyse af forskellige planforslag og projekialternativer indenfor et overskueligt budget.
- Sikre en sammenhængende analyse af kvaliteter og usikkerheder af både de specifikke modeller og det samlede modelresultat.
- Sikre bedre kvalitetskontrol af modellerne og herved også være et værktøj til at udvikle nye metoder.

Trafikmodel-delen af projektet omhandler både operationelle, taktiske og strategiske modeller for kort- og langsigtede prognoser på det lokale, regionale og statslige niveau. Modellerne vil blive afprøvet på en vifte af cases, i bymodeller for Høje-Taastrup og Slagelse, en regional model for Hovedstadsområdet samt en landstrafikmodel. Den faglige udvikling i projektet vil primært ske i modeller for kollektiv trafik (Camilla Alexandersens Ph.D.-Studie, se også Alexandersen, 1994) samt i rutevalgmodeller og i sammenhængen mellem forskellige modeltrin eller en totalberegning af trafikken (forfatterens forskning). Det er håbet også at skaffe midler til en indsats vedrørende modeller for cykeltrafik, der er en af de mere forsømte dele af trafikmodellerne; ofte ses der helt bort fra cykeltrafik i de i praksis anvendte modeller.

## **6 DEN FAGLIGE MODELUDVIKLING - FORSKNING VERSUS PRAKSIS**

Der er på trafikmodelområdet en ganske tæt kontakt mellem praktikere og forskere i Danmark. Alligevel kan dialogen styrkes. Ofte benyttes argumentet, at der sagtens kan foretages akademiske diskussioner på universiteterne, men at resultaterne heraf er besværlige i praksis. Imidlertid afslører teoretiske analyser af trafikmodeller ofte svagheder i dagens modelpraksis. Nielsen (1994/2) pegede blandt andet på følgende problemer:

- Logitmodeller benyttes ofte i modstrid med, at de er udledt efter en antagelse om, at trafikanterne udgør en homogen gruppe. Nyttfunktionen i modellerne virker ulogisk for mange valgsituationer og konkurrencen mellem nogle transportmidler beskrives ikke eksplicit.
- Simultane modeller er ofte afhængige af modellens zonestruktur, og estimeres ofte, så der lægges urimeligt stor vægt på små trafikmængder og for lidt på observationer af store trafikmængder.
- Rutevalgmodeller, der tager hensyn til trafikens kapacitetsafhængighed, er ofte ikke i stand til at finde en konsistent ligevægt mellem forskellige ruter.
- Rutevalgmodeller, der tager hensyn til det stokastiske element i trafikanters rutevalg, har ofte problemer med at beskrive alternative ruter hensigtsmæssigt. Ligeledes tager modellerne ikke hensyn til, at de enkelte trafikanter prioriterer rutevalget efter forskellige kriterier.
- At metoder, der estimerer trafikmodeller ud fra snittællinger ofte benytter mere primitive rutevalgmodeller, end resten af modelkomplekset, og at de ikke tager hensyn til, at snittællinger kan være inkonsistente. Forbedrede metoder herfor vil kunne forbedre modelresultaterne markant og samtidig mindske behovet for dyre rejsevaneundersøgelser.
- At de enkelte modeltrin ikke hænger sammen på en konsistent måde, f.eks. fordi de rejsemodstande, der indgår i turproduktionsmodellen, ikke stemmer overens med rejsemodstandene efter, at trafikken er fordelt på nettet.
- At omregningen mellem data i de forskellige trin i modellerne ofte foretages ved meget grove metoder.

- At den overordnede modelopbygning ofte ikke svarer til anvendelsen; f.eks. at en kortsigtet taktisk model benyttes til at beskrive langsigtede strategiske planforslag.

Disse problemer sløres ofte af, at en model rent matematisk sagtens kan estimeres til at reproducere snittællinger og resultater fra rejsevaneundersøgelser uden, at den af den grund svarer til det virkelige turmønster. Problemerne i modelformuleringen vil først vise sig i prognosesituationen, hvilket erfaringen fra en række danske studier da også har vist. Således vil en hensyntagen til forskningens resultater alt-andet-lige lede til mere troværdige modeller. Ofte vil det kunne betale sig at lægge flere ressourcer i modelformuleringen og færre i dataindsamlingen.

Fra praktikernes side er der naturligvis en række årsager til at være 'konservative' i valg af model:

- Trafikmodeller er et meget omfattende fagområde, og modeller for taktiske eller strategiske planforslag er komplicerede. Alligevel afsættes der ofte kun få ressourcer til konkrete modelarbejder, hvilket tvinger praktikerne til at anvende simple velafprøvede metoder.
- Forskere kan lettere eksperimentere med forskellige modeltyper; at en modeltype ikke virker er jo også et forskningsresultat. Et tilsvarende resultat er ret katastrofalt for praktikerne.
- At der forholdsvist sjældent foretages større trafikmodelarbejder i Danmark, og når det er tilfældet ofte for meget forskellige typer planforslag. Det er således svært at opbygge et generelt erfaringsgrundlag.
- At indsamling af empirisk viden, anvendt forskning og modelafprøvninger på trafikmodelområdet sjældent opfattes som 'rigtig forskning' af forskningsråd, ministerier og lignende finansieringskilder. Derfor er det svært for konsulentfirmaer og offentlige styrelser at afprøve nye modeltyper.

En styrkelse af trafikmodeller som fagområde kan opnås ved:

- At der afses midler til analyser og formidling af erfaringer fra modelarbejder, så andre forskere og praktikere kan drage nytte heraf. På sigt må de forskellige brugere af trafikmodellerne være interesseret i en sådan formidling, for at undgå at finansiere en videnopbygning, der måske allerede er foretaget.
- At fokus på anvendt forskning i trafikmodeller øges. Her tænkes ikke på indsamling af yderligere empirisk viden om rejsevaneer, men snarere på at udvikle modeller, der bedre kan beskrive allerede indsamlet datamateriale. Der er ofte et betydeligt gab mellem den empiriske viden og modellernes faktiske kunnen.
- At der afses midler til 'eksperimenter' med nyudviklede modeller. I forbindelse med opdateringen af Hovedstadstrafikmodellen til en myldretidsmodel, har konsulentfirmaet Anders Nyvig A/S eksempelvis fået mulighed for at afprøve en simultan modelformulering, der ud fra teoretiske betragtninger bør kunne forbedre modellens validitet markant. Arbejdet med Hovedstadstrafikmodellen har løbet over en række år, hvorfor der er plads til en sådan nyudvikling. I andre tilfælde kunne man forestille sig, at forskningsråd medfinansierer arbejdet. Endeligt kunne universiteterne inddrages mere i arbejdet. Dette har eksempelvis været tilfældet i forbindelse med Hovedstadstrafikmodellen, hvor IVTB har fået stillet datamaterialet til rådighed til afprøvning af nye modeltyper.
- Ofte nedsættes der følgegrupper til forskellige modelarbejder, men som regel indgår de kun i arbejdet på et meget overordnet for ikke at sige sporadisk plan. Man kunne forestille sig, at følgegrupperne indgår tættere i det konkrete arbejde, f.eks. ved at gruppens medlemmer også finansieres over projektet. Dette kan både være tilfældet ved praktiske modelarbejder, hvor forskere tilknyttes projektet og i forskningsprojekter, hvor praktikere tilknyttes projektet.
- At der drages større nytte af resultater af international forskning og praksis, hvilket måske kunne have afværget mange dyrkkøbte danske erfaringer. Måske kunne det være en opgave for Transportrådet at medfinansiere praktikeres formidling af anvendt forskning ved internationale konferencer.

- At der i højere grad drages nytte af universiteternes forskningsresultater, dokumenteret i diverse papers, rapporter og afhandlinger.

## 7 KONKLUSIONER OG PERSPEKTIVER

Med udgangspunkt i Nielsen (1994/2) peger dette paper på en række problemer ved eksisterende modeltyper. Perspektiver for den videre forskning i trafikmodeller ved IVTB er præsenteret, og der er givet en række anbefalinger for styrkelse af trafikmodeller som fagområde på det teoretiske såvel som praktiske plan.

Generelt bør udviklingen af trafikmodeller rettes mod modeltyper, der er lettere at benytte samtidig med, at de kan give mere præcise resultater. Denne udvikling er blandt andet muliggjort af den lettere adgang til data ved brug af Geografiske Informationssystemer sammenkoblet med offentlige registre, en faglig forbedring af modellerne samt en stigende integration af de enkelte modelkomponenter i samlede modelsystemer, der gøres mere og mere brugervenlige i takt med den teknologiske udvikling.

En anden udvikling er, at trafikmodeller i højere grad vil blive integreret med modeller for konsekvensberegninger og beslutningsstøtte, så trafikpolitiske beslutninger i højere grad vil kunne bygge på helhedsvurderinger, hvor miljømæssige, sikkerhedsmæssige og velfærdsmæssige effekter vurderes i sammenhæng med ønsket om et effektivt trafiknet med en høj mobilitet. GIS-T projektet ved IVTB skal bl.a. ses i dette lys.

## LITTERATUR

- Alexandersen, Camilla Riff. **Modeller for kollektiv trafik - teori og empiri**. Udkast, Rapport nr. 79, IVTB, DTU, 1995.
- Anders Nyvig A/S. **Begrænsning af bilbrug i middelstore nordiske byer - Odense**. TemaNord 1994:505, NKTF.
- Andersen, Knud Erik. **Persontrafikmodeller** Rapport nr. 32, IVTB, 1980.
- Andersen, Peter Bjørn. **Prognosemodeller for interregionale persontransporter, teori og anvendelse**, Licentiatarbejde udført ved IVTB, 1976.
- Armstrong, J.Scott. **Long-Range Forecasting: From Crystal Ball to computer**. John Wiley & Sons, 1978.
- Bates, J. **Measuring travel time values with a discrete choice model: a note**. The Economic Journal, No. 97, 1987: s.493-498.
- Bates, John. **Reflections on stated preference: Theory and practice**. June 1994, "Seventh International Conference on Travel Behaviour", 1994, s.77-88.
- Becker, G. **A theory of the allocation of time**. The Economic Journal, No. 75, 1965: s.493-517.
- Ben-Akiva, M. & Lerman, S.R. **Discrete Choice Analysis - Theory and Application to Travel Demand**. The MIT Press, 1985.
- Bertuglia, C.S., Clarke, G.P. & Wilson, A.G. **Modelling the city, Performance, policy and planning**. Routledge, 1994.
- Bovy, P.H.L. & Stern, E. **Route Choice: Wayfinding in Transport Networks**. Kluwer Academic Publishers, Studies in Operational Regional Science, Vol. 9, 1990.
- Boyce, D.E.; Zhang, Y. & Lupa, M.R. **Introducing "Feedback" into Four-Step Travel Forecasting Procedure Versus Equilibrium Solution of Combined Model**. TRB Transportation Research Record 1443, 1994, s.65-74.
- Bradley, M. & Daly, A. **Estimation of Logit Choice Models Using Mixed Stated Preference and Revealed Preference Information**. Sixth International Conference on Travel Behaviour, Quebec, 1991.
- Bradley, Mark & Daly, Andrew. **New analysis issues in stated preference research**. Proceedings 21th PTRC Summer Annual Meeting, Seminar D, Transportation Planning Methods, University of Manchester Institute of Science and Technology, England. September 1993: s.75-89.
- Bradley, Mark & Daly, Andrew. **Use of the logit scaling approach to test for rank-order and fatigue effects in stated preference data**. Transportation, Vol 21, No.2, Maj 1994: s.167-184.



- Bradley, M. & Kroes, E. **Simultaneous Analysis of Stated Preference and Revealed Preference Information**. PTRC. London: 1990.
- Brix, Jens W og Nielsen, Otto Anker. **Fast Øresundsforbindelse - Beregning af trafikspringet for den regionale persontrafik på tværs af Øresund ved hjælp af en simultan trafikmodel**. 18-point individuelt kursus ved IVTB, November 1990.
- Clark, C.E. **The Greatest of a Finite Set of Random Variables**. Operations Research 9(2), s.145-162, 1961.
- Clausen, Svend. **Kybernetik- Systemer og Modeller**. Institut for Matematisk Statistik og Operationsanalyse (IMSOR), DTH, 1969.
- COWiconsult. **Buspassagerers vurdering af en busrejses service-elementer - en Stated Preference-analyse**. HT. Februar 1995.
- COWiconsult, **Konkurrenceflader i persontransport - Udkast**. Juni, 1995
- De Serpa, A. **A theory of the economics of time**. The Economic Journal, No. 81, 1971: s.828-846.
- Easa, Said M. **Traffic Assignment in Practice: Overview and Guidelines for Users**. Journal of Transportation Engineering, Vol.117, nr.6, December 1991: s.602-623.
- Evans, A. **On the theory of the valuation and allocation of time**. Scottish Journal of Political Economy. February 1972: s.1-17.
- Gärling, Tommy. **Behavioral assumptions overlooked in travel choice modelling**. June 1994, "Seventh International Conference on Travel Behaviour", 1994, s.115-126.
- Handy, Susan. **Three perspectives on the function of transportation models: Rational, Political, or Interactive?** Transportation Research Board, 71st Annual Meeting, January 12-16, 1992, Preprint.
- Hensher, David A. **Stated preference analysis of travel choices: the state of practice**. Transportation, Vol 21, No.2, Maj 1994: s.107-134.
- Jara-Díaz, Sergio R. **A general micro-model of users' behaviour: The basic issues**. June 1994, "Seventh International Conference on Travel Behaviour", 1994, s.91-103.
- Jara-Díaz, S.R. & Farah, M. **Transport demand and user's benefits with fixed income: the goods/leisure trade-off revisited**. Transportation Research 21B, 1987: s.165-170.
- Johannesen, Klaus & Bloch, Karsten. **Trafik- og Miljømodel i Svendborg**. Byplan, nr.2, 1994: s.85-91.
- Jovicic, Goran. **A Mode Choice Model for Danish International Freight Transport**. Ph.D.-arbejde udført ved IVTB & Hoff & Overgaard a/s. Report No.73, IVTB, 1994.
- Jovicic, Goran; Rallis, Tom & Petersen, Morten Steen. **Use of Stated Preference data on Mode Choice Modelling for Long-distance freight Transport**. IVTB / Hoff & Overgaard a/s. Paper, 1994.
- Jørgensen, N.O. & Leleur, Steen. **Trafikprognoser og -modeller**. I Lahrmann, Leleur, m.fl., 1994, kapitel 10: s.303-345.
- Kanafani, Adib. **Transportation demand analysis**. University of California, Berkeley. McGraw-Hill Book Company, 1983.
- Kim, J.T., Rho, J.H. & Suh, S. **Integrated Urban Systems Modelling: Theory and Applications**. Kluwer Academic Publishers. 1989.
- Kraan, M & van Maarseveen, M. **Time and money budgets in transportation modelling: Empiricism and theory**. June 1994, "Seventh International Conference on Travel Behaviour", 1994, s.104-114.
- Kraan, Mariëtte. **Time allocation in transportation modelling with respect to limited time and money budgets: a new modelling technique**. 22nd PTRC Summer Annual Meeting, Warwick: 1994.
- Larsen, Flemming. **Hovedstaden/Trafikmodel - Modelstatus for døgntrafikmodellen**. Anders Nyvig AS, August 1994.
- Lei, Karen Marie & Herrstedt, Lene; Vejdirektoratet, Trafiksikkerhed og Miljø afdelingen. **Cyklens potentiale i bytrafik**. Trafikdage på AUC, 29-30 august 1994, s.147-149.
- Luce, R. **Individual Choice Behaviour: A theoretical Analysis**. Wiley, New York. 1959.
- Luce, R.D. & Suppes, P. **Preference, utility and subjective probability**. I R.Luce, R.Bush & E.Galanter (eds), Handbook of Mathematical Psychology. Wiley, New York. 1965.
- Makridakis, S. m.fl. **The accuracy of extrapolation (time-series) methods**. Journal of forecasting, No.1, April-June, 1982: s.111-153.
- Manheim, M.L. **Practical implications of some fundamental properties of travel-demand model**. Highway Research Record, nr. 422. 1973.
- Mayberry, J.P. **Structural requirements for abstract -mode models of passenger transportation**. I R.E.Quandt (ed), The Demand for Travel: Theory and Measurement. D.C.Heath and Co.,Lexington, Mass. 1973.

- McFadden, D. **Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behaviour**. Frontiers in Econometrics, Academic Press, New York. 1974.
- Meyer, Michael D. & Miller, Eric J. **Urban Transportation Planning - A Decision-Oriented Approach**. McGraw Hill Series in Transportation. 1984.
- Morikawa, Takayuki. **Correcting state dependence and serial correlation in the RP/SP combined estimation method**. Transportation, Vol 21, No.2, Maj 1994: s.153-166.
- Morikawa, T. & Sasaki, K. **Discrete choice models with latent variables using subjective data**. June 1994, "Seventh International Conference on Travel Behaviour", 1994, s.531-542.
- NCHRP (National Cooperative Highway Research Program). **Travel Estimation Techniques for Urban Planning**. Barton-Ashman Assoc. Inc, NCHRP Report 365. 1994.
- Nielsen, O. A. **A New Method for Estimating Trip Matrices from Traffic Counts**. Seventh International Conference on Travel Behaviour. s.2-14. Juni 1994, 1.
- Nielsen, O.A. **Optimal brug af persontrafikmodeller - En analyse af persontrafikmodeller med henblik på dataøkonomi og validitet**. Ph.D.-Afhandling. Rapport No. 76, IVTB, DTU. 1994, 2.
- Nielsen, O.A. **Brug af GIS i Danmark til trafikplanlægning og som beslutningsstøttesystem**. Trafikdage på AUC, 1994/3. s.305-316.
- Nielsen, O.A. **Scope and Intention of the research project: Use of GIS for Traffic Planning and Decision Support (GIS-T)**. IVTB, DTU. 1995, 1.
- Nielsen, O.A. **Using GIS in Denmark for Traffic Planning and Decision Support**. Paper to be published in the Journal of Advanced Transportation. No 3. 1995, 2.
- Nielsen, O.A. & Jacobsen, C.R. **Using GIS for Traffic Planning and Impact Modelling in Municipalities**. Paper to be published at the 23th PTRC annual Meeting, Warwick, UK. 1995, 3.
- Ortúzar, J.de D & Garrido, R.A. **On the semantic scale problem in stated preference rating experiments**. Transportation, Vol 21, No.2, Maj 1994: s.185-202.
- Ortúzar, J.de D. & Willumsen, L.G. **Modelling Transport**. John Wiley & Sons, 1990.
- Richmond, Jonathan. **The Mythical Role of Forecasting in Transportation Planning**". Paper Presented at the 32nd Annual Meeting of the American Collegiate Schools of Planning, Austin, TX, November 4, 1990.
- Schnaars, S.P. **How to Develop and Use Scenarios**. Long Range Planning, Vol. 20, No.1, 1987: s.105-114.
- Sheffi, Yosef. **Urban Transportation Networks**. Prentice Hall, Inc, Englewood Cliffs, NJ, 1985.
- Sheffi, Y. & Daganzo, C.F. **Hypernetworks and Supply Demand Equilibrium with Disaggregate Demand Models**. TRB Transportation Research Record 673, 1978, s.113-121.
- Sheffi, Y., Hall, R. & Daganzo, C.F. **On the estimation of the multinomial probit model**. Transportation Research, 16A(5/6), s.447-56, 1982.
- Steen, Peter. **Scenarier på transportområdet**. Trafikdage på AUC, 29.-30.august 1994, s.33-37.
- Swait, J., Louvierre, J.J. & Williams, M. **A sequential approach to exploiting the combined strengths of SP and RP data: Application to freight shipper choice**. Transportation, Vol 21, No.2, Maj 1994: s.135-152.
- T-ATV (Trafikforskningsgruppen - Akademiet for de Tekniske Videnskaber. **Trafik 2000, et forskningsprojekt om trafikens udvikling under forskellige samfundsmæssige forudsætninger**. Sammenfatning + Hovedrapport. Akademisk Forlag. 1977.
- Thorpe, N. & Hills, P. **Public Attitudes to Road Pricing; A Report of a Norwegian Case Study**. University of Newcastle upon Tyne, Department of Civil Engineering. Research Report No.82, 1992.
- Train, K. & McFadden, D. **The goods/leisure trade-off and disaggregate work trip mode choice models**. Transportation Research 12, 1978: s.349-353.
- Truong, P. & Hensher, D. **Measurement of travel time values and opportunity cost from a discrete choice model**. The Economic Journal, No. 95, 1985: s.438-451.
- US.DOT (US. Department of Transportation), Federal Highway Administration. **Calibration and Adjustment of System Planning Models**. December 1990.
- Widlert, Staffan. **Stated Preference Studies - The Design Affects The Results**. June 1994, "Seventh International Conference on Travel Behaviour", 1994: 13 s.(udleveret på konferencen).
- Williams, H.C.W.L. **On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefit**. Environment and Planning, 9A, s.285-344, 1977.
- Williams, H.C.W.L and Senior, M.L. **Model based transport policy assessment: (2) Removing fundamental inconsistencies from the models**. Traffic Engineering and Control, 18(10), s.464-469, 1977.
- Willumsen, L.G., Bolland, J., Hall, M.D. & Arezki, Y. **Multi-modal modelling in congested networks: SATURN and SATCHMO**. Traffic Engineering and Control, June 1993: s.294-301.

- Wilson, A.G. **Entropy in urban and regional modelling**. Pion Limited, 1970.
- Yai, T. & Iwakura, S. **Route Choice Modelling and Investment Effects in Metropolitan Rail Network**. Seventh International Conference on Travel behaviour, Chile, Preprints, 13-16 June, 1994: s.363-389.