

MODELLER SOM BESLUTNINGSGRUNDLAG – POST FEMER BÆLT

Otto Anker Nielsen
Forskningsprofessor

Jens Rørbech
Adjungeret Professor

Center for Trafik og Transportforskning, DTU

Indledning

I forbindelse med det sidste års diskussion af Femer Bælt projektet udtalte den daværende Trafikminister Sonja Mikkelsen, at det er vigtigt, at regeringens principbeslutning om Femer Bælt forbindelsen 'hviler på et grundlag, som ikke efterfølgende kan kritiseres for at være ufuldstændigt'.

Som en del af vurderingen af beslutningsgrundlaget blev 4 ekspertgrupper bedt om at vurdere dette til 'Konference om beslutningsgrundlaget for Femer Bælt-forbindelsen, 13/1-2000'. Én af grupperne, 'ekspertgruppen for vurdering af trafikanalyser og – prognoser', bestod af ovennævnte forfattere samt professor Bent Flyvbjerg, AUC.

Der var i gruppen enighed om, at det beslutningsgrundlag, der forelå for Femer Bælt forbindelsen, var mere omfattende og af højere kvalitet, end tilfældet var for beslutningsgrundlaget for Øresunds- og Storebæltsforbindelserne i den tilsvarende fase i beslutningsprocessen herfor.

Men der var også en række fundamentale kritikpunkter, som burde have ledt til en grundigere opfølgning af det specifikke arbejde. Afledt heraf ser vi et behov for en mere grundlæggende diskussion af organiseringen af fremtidige modelprojekter. Artiklen søger at starte en debat herom ved at give en række anbefalinger og idéer til den fremtidige organisering af trafikmodelprojekter.

Artiklen starter i afsnit 2 med en kort opsummering af beslutningsprocessen i forbindelse med Femer Bælt, efterfulgt i afsnit 3 af mere historiske betragtninger vedr. beslutningsgrundlaget for store infrastrukturprojekter. Afsnit 4 diskuterer mere specifikt resultater og mangler i Femer Bælt beslutningsgrundlaget.

Afsnit 5 og 6 foreslår en række krav, der bør stilles til trafikmodeller, samt hvordan modellerne bør dokumenteres og valideres. Afsnit 7 giver en række anbefalinger til den fremtidige organisering af trafikmodelprojekter, mens artiklen afsluttes med nogle mere overordnede konklusioner vedr. brugen af trafikmodeller i planlægning og den politiske beslutningsproces.

Femer Bælt og andre modelkomplekser – Forløb og behov for eftertanke

En fast forbindelse over Femer Bælt har været diskuteret i mange år, men den nuværende diskussion startede i 1992 (jf. FTC, 1999a) efterfulgt af følgende nøglebegivenheder:

- Maj 1992: Ministerbeslutning om undersøgelse af Femer Bælt (jf. Ibid.).
- December: 1994 Bekræftelse på EU ministermøde (jf. Ibid.).
- Januar 1999: Trafikmodel og dokumentation foreligger fra FTC (jf. Ibid.).
- Marts 1999: En populærdokumentation af forundersøgelserne foreligger (Trafikministeriet).
- August 1999 Økonomirapport foreligger fra Trafikministeriet.
- Trafikministeren træffer beslutning om uafhængig ekspertvurdering, gennemført af en ekspertgruppe, som Transportrådet skulle udpege.
- Nov. 1999: Ekspertgruppen udpeges af Transportrådet, og medlemmerne Bent Flyvbjerg, Otto Anker Nielsen og Jens Rørbech kontaktes.

Vurderingen af modellen:

- Efter et vist tovtrækkeri have gruppen den 20 Dec. 1999 modtaget alt relevant materiale (herunder FTC, 1999a & b), hvorefter den egentlige evaluering kunne starte. Resultatet heraf fremgår af Nielsen, m.fl. (2000a).
- Den 13 Jan. 2000 blev konferencen om beslutningsgrundlaget for Femer Bælt-forbindelsen afholdt. De 4 ekspertgrupper (trafikmodeller, samfundsøkonomi, finansiering og miljø) fremlagde her deres ros og kritik. Trafikmodelgruppen kritiserede, jf. afsnit 4 i nærværende artikel, såvel trafikmodellernes faglige opbygning som deres dokumentation.
- Efter konferencen startede der i medierne en vis debat om den specifikke model (artikler i Ingeniøren, Nr. 3, 13 og 15 af Marfelt, samt Nielsen m.fl., 2000b & c). Dette fortsatte i en mere generel modelkritik fra bl.a. Ingeniørens Miljøredaktion ved Dan Boding-Jensen. Sidstnævnte indlæg – der i øvrigt rummer mange faktuelle fejl og misforståelser – er meget betegnende for den ofte unuancerede afstandtagen fra alt hvad der har modeller at gøre, der opstår i kølvandet på kritiske faglige diskussioner af specifikke modelprojekter.
- I maj 2000 fremsendte FTC-konsortiet en ny udbygget dokumentation til Trafikministeriet.
- Den 21 August 2000 modtager ekspertgruppen denne dokumentation.
- Den 29 August 2000 holdt forfatterne til nærværende artikel et indlæg på AUC om modellen, efter at den var kvalitetssikret af Trafikministeriet.

På mange måder gentog debatten efter Femer Bælt konferencen tidligere debatter om brugen af trafikmodeller. Og måske netop derfor er der et behov for en mere grundlæggende diskussion af brugen og organiseringen af trafikmodelprojekter, siden en række tidligere fejl og kritikpunkter synes at gentage sig med 5-10 års intervaller. Et eksempel er nedenstående citater fra en debat, der fandt sted i 1995:

- Konsulentfirmaerne gør ofte opmærksom på modellernes mangler, men forbeholdene glemmes, når resultaterne når højere op (Otto Anker Nielsen, i Marfelt, 1995a).
- Hvis vi skal komme videre, skal vi om metoderne kunne sige, hvad vi ved med sikkerhed, og hvad vi ikke ved (Steen Leleur, DTU, i Marfelt, 1995b).
- Jo højere op i processen, desto mere forenklet bliver det faglige grundlag, for at politikerne skal kunne forstå det. De vil gerne have ét facit, men når man forenkler, går noget undervejs tabt (Christian Overgaard Hansen, TetraPlan, i Marfelt, 1995b).
- Modelberegninger bør laves, så både modelbrugere og de, der kommunikerer med dem, kan forstå dem (Jørgen Ruhbek Hansen, Rambøll, i Marfelt, 1995c).
- Anbefalinger fra tværministerielt udvalg, jf. Marfelt (1995c): Udvikling af faglige standarder for god information om modelberegninger, styrkelse af faglig debat, uafhængige modeller og brugere, flere uafhængige vurderinger af større samfundsmæssige beslutninger.
- Eksperterne gør jo ikke opmærksom på de usikkerheder, der er forbundet med modelberegninger (Arne Gaardmand, Arkitekt og planlægger, jf. Marfelt, 1995d).
- Trafikmodeller har ofte stor usikkerhed (Nielsen, 1995).

Nøgleordene fra denne debat kan nok sammenfattes til et ønske om mere transparente modeller, hvis usikkerheder og begrænsninger grundigt vurderes.

Historiske betragtninger

Danskerne har altid været stolte af sine broer og store trafik anlæg, og vi har en tradition for et brobyggeri, som har vakt beundring også uden for landets grænse. Men hvordan går det til, når et nyt (større) projekt gennemføres?

Ingeniørkunstens formåen har naturligvis altid været afgørende – man kan nu engang ikke bygge noget, der ikke kan lade sig gøre. Men det er jo ikke alt, der kan lade sig gøre, der gennemføres – der skal prioriteres. Her kommer i vore dage trafikmodellernes resultater ind som en del af beslutningsgrundlaget. Men trafikmodeller er noget relativt nyt. Hvad gjorde man før, og hvornår og hvordan kom trafikmodeller ind i billedet?

En af de ældste og bedst bevarede broer i Danmark er Immervad Bro på Hærvejen i Sønderjylland. Den er en bjælkebro bygget 1776 med én stor granitsten 4,35 m lang som den bærende planke. Broen er bygget som led i den store vejreform i 1761. Enevældskongen Frederik d.V resolverede, at der skulle anlægges nye landeveje i alle landets provinser. Formålet var bedre handel gennem bedre transport, og så navnlig at få skatterne sikkert til Hovedstaden.

100 år efter var det jernbaner, der blev satset på. Jernbanen var den ny tids transportmiddel og passede ind i den ny tids demokrati – vi havde fået ny grundlov i 1849, og hele landet var nu repræsenteret i Rigsdagen. Det var en kæmpeopgave, at forsyne landet med det tætmaskede net af jernbanelinier, der var resultatet, da vi kom ind i 1900-tallet.

Jernbanebroerne var massive konstruktioner, der har holdt godt. De fleste bærer endnu vore dages jernbanetrafik. I 1894 bliver A.Ostenfeld docent og siden professor i Teknisk Mekanik

ved Polyteknisk Lærestalt, og det bliver indledningen til en ny æra. Videnskabelige metoder inddrages i brobygningskunsten, og takket være Ostenfeld uddanner Danmark ingeniører, der ikke alene imponerer herhjemme, men også i udlandet. Og vi får entreprenørfirmaer, der kan forny brobygningskulturen. Store nye jernkonstruktioner bliver nationens stolthed med Lillebæltsbroen og Storstrømsbroen som de mest imponerende. Over 11 større jernbanebroer kom til inden krigen. Og at der kom smalle vejbaner med, var næsten en tilfældighed.

Efter krigen er det vejtrafikken der igen tager over. Visionen om ”Det store motorvejs H” bliver afgørende for resten af århundredes udbygning af landets infrastruktur. Og nu rykker trafikmodellerne ind på scenen:

Den første egentlige trafikmodelanvendelse var da den jyske motorvej skulle placeres i begyndelsen af 1960’erne (Vejdirektoratet, 1962). Det var oprindeligt tanken at placere vejen parallelt med den gamle hovedvej 10 i Østjylland, men professor Johannes Humlum foreslog en placering på den jyske højderyg i hærvejens gamle tracé (Vejdirektoratet, 1966). Det ville være billigere, og kunne give anledning til nye bydannelser uden de gamle byers bindinger. Men målinger af rejsemønstre og modelbetragtninger understøttede den oprindelige placering østpå.

På IMSOR (Instituttet for Matematisk Statistik og Operationsanalyse – nu Instituttet for Matematisk Modellering) på Danmarks Tekniske Universitet interesserede man sig i midten og slutningen af 1960’erne for at udnytte den nye edb-modelteknik til økonomisk optimering og benyttede motorvejen som case. Nu lå tracéen fast, men i hvilken rækkefølge skulle de enkelte parceller bygges? (bl.a. Hamann, 1967).

Den første systematiske beskrivelse af trafikmodeller i Danmark er Knud Overgaards licentiatarbejde (1964). Han benyttede bl.a. Kolding som eksempel. Vejdirektoratet fulgte op ved i slutningen af 1960’erne at lade de 3 daværende trafikplanlægningsfirmaer hver udvikle en bytrafikmodel:

- Hoff & Overgaard (siden hen en del af Carl Bro): Århus.
- Ostenfeld & Jønson (siden hen COWI): Kolding.
- Anders Nyvig: Odense.

Efter bymodellerne udviklede de samme 3 firmaer, og efter samme metode, 3 amtstrafikmodeller, og Vejdirektoratet var med det nyoprettede Vejdatalaboratorium parat til den ny tid: Alle større vejplanlægningsopgaver er siden belyst med trafikmodelberegninger – om end nogle har været mere avancerede end andre.

Fremhæves skal en undersøgelse af tværprofiler til Røndemotorvejen (Vejdirektoratet, 1972), der i Perspektivplan II 1972 fremhæves for den nytænkning, det er, at inddrage trafikøkonomiske modelberegninger i standardfastsættelsen af vejtværprofiler.

Fremhæves skal endvidere det modelarbejde, der har knyttet sig til trafikikkerhedsarbejdet. Her er det især ”den koordinerede uheldsstatistik”, der har vist sig som et fremragende hjælpemiddel. Det blev oprindeligt foreslået og skitseret i Ole Thorsons licentiatarbejde i 1967. Der var i de år over 1200 dræbte i trafikken – nu er tallet omkring 500. Trafikken er i mellemtiden fordoblet.

Vejdirektoratet anvendte også modelberegninger i alle prioriteringsovervejelserne (Vejdirektoratet, 1981 & 1985). I de år blev der igangsat et stort antal hovedlandevejsarbejder – typisk omfartsveje. Modelberegninger, særligt med henblik på valg af tracé, havde også en central plads i de ofte meget komplicerede afgørelser i forbindelse med færdiggørelsen af ”det store motorvejs H”.

Fremhæves skal her især hele planlægningen af Sydmotorvejen med passagen af Storstrømmen. Farøbroerne blev indviet i 1985, men efter mellem 10 og 20 debatter i Folketinget, mindst 2 store betænkninger og et utal af plandokumenter (Rørbech, 1986). Nævnes skal også spørgsmålet om trinvis kontra etapevis udbygning af motorvejene (Vejdirektoratet, 1976).

I København bestilte Egnspanrådet (1967) i 1960’erne en trafikmodel for Hovedstadsregionen hos det engelske planlægningsfirma Freeman, Fox, Wilbur Smith and Associates. Modellen blev anvendt, men blev aldrig rigtig operationel! Hvilket såvel har været betegnende for en række efterfølgende modeller.

Der har de seneste år været god gang i udviklingen af nye metoder i trafikmodelarbejdet, især har Danmarks Tekniske Universitet markeret sig med hensyn til den forskningsmæssige indsats. Men planlægningen af de store projekter har også haft afgørende indflydelse på udviklingen: Storebælt, Øresund, Ørestadsselskabets aktiviteter, og vurderingerne af Havnetunnelprojektet i København og udbygningen af banen København – Ringsted.

Mens det er enkelt at gennemskue beslutningsprocessen, da Frederik d. V satte gang i vejbyggeriet, er det sværere at gennemskue vore dages beslutninger. Ingeniørkunsten er naturligvis stadig afgørende; spørgsmålet er, om trafikmodellerne har eller vil overtage en større del af magthavernes rolle m.h.t. at skære igennem de svære spørgsmål?

Her er svaret naturligvis både ”ja og nej”. Der er ingen tvivl om, at *visionen* stadig er afgørende. Det er stadigvæk den politiske vilje, der driver værket.

Men trafikmodellernes rolle er også væsentlig. Efterhånden som større og større projekter kan gennemføres, stiger også behovet for så sikker viden som muligt med hensyn til trafikbelastning, regionale strukturændringer, trafikøkonomi og ikke mindst påvirkningen af miljøet.

Femer Bælt forbindelsen er et godt eksempel på de komplicerede problemstillinger, der kan dukke op, og er et godt udgangspunkt for overvejelser om den fremtidige udvikling af trafikmodeller.

Femer Bælt beslutningsgrundlaget – Resultater og mangler

Ekspertgruppens kommissorium var at vurdere ’om forundersøgelserne var gennemført på et solidt teknisk grundlag, om forudsætningerne virkede realistiske, om analysen var afgrænset på en relevant måde og inddrog alle væsentligste aspekter’. Den primære opgave var ’at vurdere om der var tale om et tilstrækkeligt grundlag for at træffe en principbeslutning om en fast Femer forbindelse’.

Det var gruppens vurdering, at det beslutningsgrundlag som forelå for Femer Bælt forbindelsen, var mere omfattende og af højere kvalitet, end tilfældet var for

beslutningsgrundlaget for Øresunds- og Storebæltsforbindelserne i den tilsvarende fase i beslutningsprocessen herfor.

Men forbindelsens karakter – mindst samme anlægsomkostning, og mindre trafik – og derved større usikkerhed om beslutningen, kræver også et mere detaljeret beslutningsgrundlag.

Ovennævnte betyder ikke, at beslutningsgrundlaget ikke kunne, kan og bør forbedres. Især pegede gruppen på følgende problemer i det eksisterende beslutningsgrundlag.

Trafikmodeller

Dele af *persontrafikmodellerne* var overfladisk dokumenteret, hvilket for såvel ekspert som lægmand umuliggør en egentlig vurdering af centrale dele af modelkomplekset. Anbefalingen ved konferencen var, at der burde gennemføres en gennemgribende udbygning og forbedring af dokumentationen. F.eks. i form af et let læseligt oversigtsnotat, suppleret af en teknisk dokumentation, der i tilstrækkeligt omfang dokumenterer modellens struktur, formeludtryk, koefficienter, estimation, kalibrering, kvalitetssikring og validering. En sådan dokumentation foreligger for de andre danske modeller, som ekspertgruppen har kendskab til, ligesom det er sædvanlig praksis for store modelprojekter i Sverige, Norge, England og Holland.

I den efterfølgende supplerende dokumentation fra FTC-konsortiet (2000c) er persontrafikmodellens grundstruktur beskrevet mere transparent – ligesom forskellige dele af beskrivelsen er modificeret. Alligevel er modelstrukturen på en række punkter stadig uklar, ligesom estimationsmetoder, parameterværdier, koefficienter, statistiske tests – såfremt sådanne er gennemført – ikke fremgår.

Det er stadig vores vurdering, at *FTC Persontrafikmodellen* rummer en række metodiske problemer – på nogen punkter værre end det fremgik af den oprindelige dokumentation - hvilket sammenholdt med den mangelfulde dokumentation, stadig leder til den konklusion, at prognoserne rummer betydelige usikkerheder.

Det var og er ekspertgruppens vurdering, at metodiske problemer af den karakter, som er beskrevet i Nielsen m.fl. (2000a) ikke bør forekomme i en trafikmodel med et omfang og budget, som i Femer undersøgelsen. I og for sig heller ikke i trafikmodeller med mindre budgetter.

Med den nye dokumentation fremstår nogle yderlige problemer i de dele af efterspørgselsmodellen, det ikke tidligere var muligt at vurdere. Dette medfører, at modellens usikkerhed må vurderes som værende større end tidligere vurderet af ekspertgruppen. Det er dog stadig vurderingen, at modellen mest sandsynligt undervurderer trafiktallene. Men den kan meget vel også vise sig at overvurdere trafikken.

Ekspertgruppen vurderede, at *godstrafikmodeller og –prognoser* formentligt udgør et nogenlunde tilstrækkeligt beslutningsgrundlag. Om end der var peget på en række forbedringsmuligheder, ligesom der er uklarheder i dokumentationen.

Hvis persontrafikmodellerne og –prognoserne forbedres, hvilket er ekspertgruppens anbefaling, bør rekvirenten have en tilstrækkelig specialistviden om trafikmodeller, til at styre det videre forløb. Dette kan evt. ske gennem en Bygherrerådgiver, eller et uafhængigt specialistpanel.

Følsomheds- og risikovurderinger

Ovenstående kommentarer vedr. usikkerheder i persontrafikmodellerne, omhandlede kun modellernes metodiske opbygning. Disse påvirker prognoseresultaterne for de givne scenarier, *der er gennemregnet*.

Det var gruppens vurdering, at der *derudover* må foretages følsomheds- og risikovurderinger af trafikprognoserne, hvis beslutningsgrundlaget for Femer Bælt forbindelsen ikke skal kunne kritiseres for at være ufuldstændigt.

Gruppen pegede på en række aspekter, hvis følsomheder bør analyseres nærmere. Det drejer sig bl.a. om økonomisk udvikling, konkurrencemæssige tiltag fra færgeruter, brugerafgifter, realisme bag forudsat betaling af jernbaneselskaber og operatører, m.v. Enkelte af disse er siden gennemregnet af FTC-konsortiet for Trafikministeriet (Carl Bro, 2000).

Derudover bør der foretages enkelte scenarieanalyser, hvor ikke kun én men flere variable varieres samtidigt. F.eks. højvækst-, lavvækst-, teknologiforbedrende og/eller miljøfokuserende scenarier for den fremtidige samfundsudvikling, med deraf følgende påvirkninger af en række af modellernes variabler. Endvidere bør break even og worst case scenarier udarbejdes.

Alle følsomhedsanalyser bør udarbejdes for såvel udviklingen frem til forbindelsens åbning, som for udviklingen derefter. Hvis analyserne benyttes til valg af kapacitetsniveau (1 eller 2 togspor, 2, 3 eller 4 vejbaner), bør længere udviklingsforløb end til 2020 vurderes.

Derudover bør der foretages mere specifikke følsomhedsvurderinger af selve trafikmodellen, som en del af kvalitetssikringen og valideringen. Som resultat heraf, bør særligt følsomme variabler og relationer vurderes nærmere og præsenteres i det overordnede beslutningsgrundlag.

Krav til trafikmodelprojekter

I forlængelse af vurderingen af Femer Bælt modellen fandt vi behov for en række retningslinier for de krav, der bør opfyldes af trafikmodeller. Derfor gives i det følgende et forslag til overordnede krav:

- Modellens adfærdsmodel bør beskrive alle de forhold, der er væsentlige for det konkrete projekt. Dette gælder såvel modellens overordnede sigte (kort- eller langsigtet, operationel, taktisk eller strategisk) som specifikke variable og årsagssammenhænge.
- Alle delmodeller bør tage hensyn til det overordnede sigte, og bør have sammenlignelig detaljeringsgrad og metodisk niveau.
- Det skal sikres, at de forskellige delmodeller er internt konsistente, herunder at såvel lokale som globale løsninger er unikke, robuste og konsistente.
- Såfremt modellen ikke bygger på internationalt anerkendte metoder, eller der afviges herfra, bør føres der såvel teoretisk bevis for - som eksperimentelt test af - den valgte metode.

- Ressourcer brugt til dataindsamling og opbygning af modelstruktur bør afstemmes så godt som muligt.
- Modellen skal være anvendelig i praksis.

Såfremt der af budgetmæssige årsager afviges fra nogle af ovennævnte krav, fremhæves dette tydeligt i dokumentationen, ligesom modellen da udsættes for interne usikkerhedsvurderinger i kombination med de usikkerheds og risikovurderinger, der under alle omstændigheder bør gennemføres.

Adfærdsmodeller

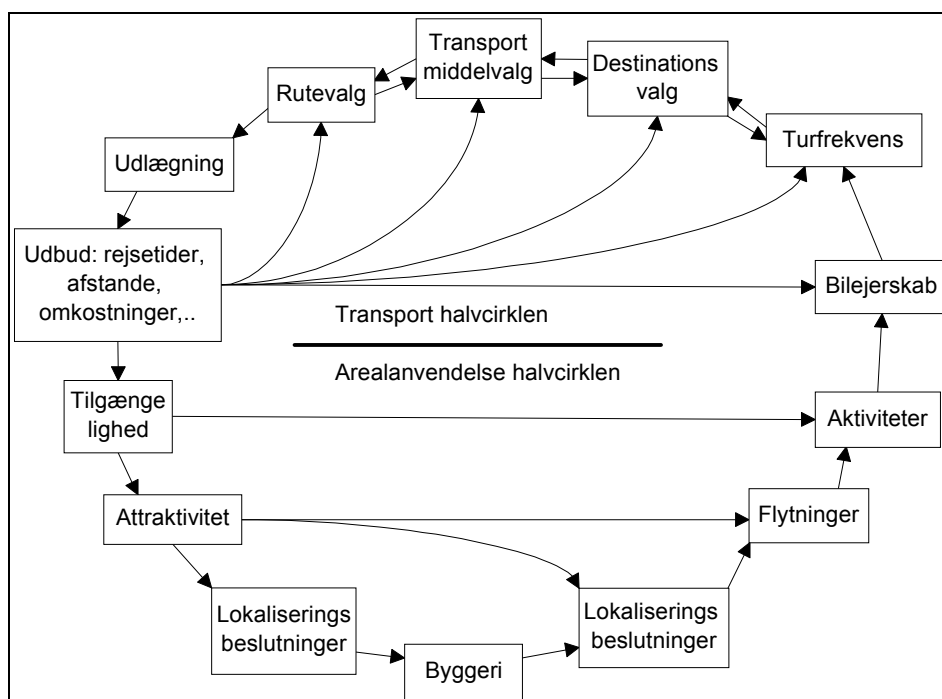
De fleste moderne trafikmodeller søger eksplicit at beskrive personers adfærd, idet mere simple modeltilgange ikke kan beskrive større ændringer i beslutningsvariable. I den forbindelse er det vigtigt, at modellen nøje vurderes i relation til det konkrete projekt, så alle forhold, der påvirkes væsentlige af projektet, vurderes ved opbygningen af modellen. Det være sig variable, rejserelationer, trafikantgrupper, trafikale forhold, m.v.

Ofte benyttes modeller efter "forhåndenværende søms princip", forstået på den måde, at en eksisterende model - eller eksisterende standardsoftware - benyttes eller tillempes. Herved risikeres, at en række relevante relationer og adfærdsvariable ikke indgår hensigtsmæssigt i modellen.

Særligt vigtigt er det at vurdere, hvorvidt det pågældende projekt kun har kortsigtede taktiske konsekvenser (f.eks. ændringer i transportmiddelvalg), eller det er af en sådan størrelsesorden, at det også har langsigtede strategiske konsekvenser (f.eks. ændringer i pendling, lokalisering, bilejerskab, eller sågar lønstruktur på arbejdsmarkedet og prisdannelser på husmarkedet).

En strukturering af de forskellige beslutningstyper er vist på figur 1, gående fra meget strategiske langsigtede beslutninger (f.eks. byggeri) til helt kortsigtede beslutninger vedrørende rutevalg.

Et andet aspekt er de helt kortsigtede meget operationelt orienterede effekter, f.eks. kapacitetsbegrænsninger og deraf konsekvenser



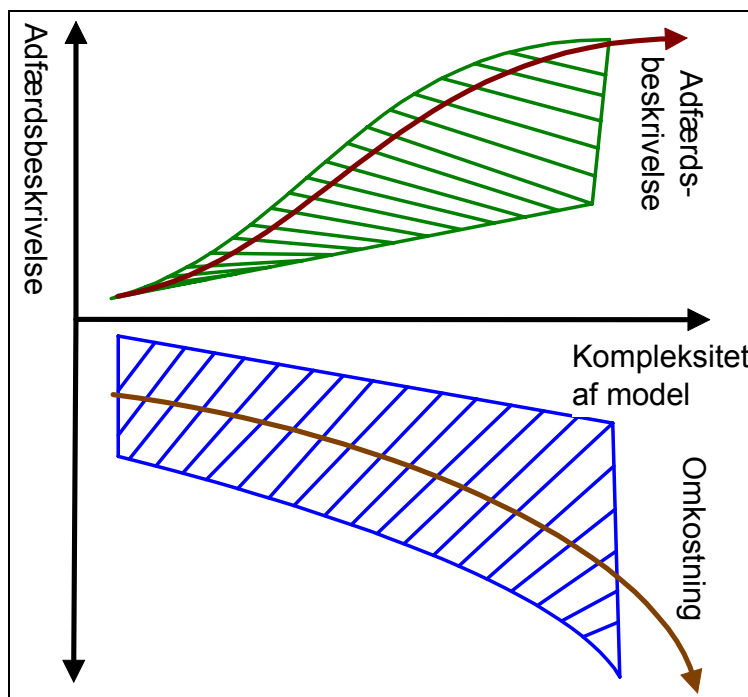
Figur 1. Forskellige komponenter i trafikmodeller og mere strategiske modeller (modificeret udgave af Wegener, 1998).

for trængsel, forsinkelser, usikkerheder, og afledt deraf rutevalg (Nielsen, 2000d).

Balancen mellem adfærdsmodel og datakvalitet

En vanskelig balance i forbindelse med trafikmodeller er at afstemme ressourceindsatsen til at opbygge en tilstrækkelig dækkende adfærdsmodel med ressourceindsatsen til dataindsamling (figur 2).

Des mere kompleks model, des bedre bør adfærdsbeskrivelsen i princippet være. Men forbedringen sker næppe lineært med den øgede kompleksitet.. Figuren indikerer også med det skraverede areal, at selv en meget kompleks model godt kan have en ret ringe adfærdsbeskrivelse, idet der derudover er flere muligheder for fejl jo mere komplekse modellerne bliver (grundet deres stigende grad af uoverskuelighed).



Figur 2. Samspil mellem adfærdsbeskrivelse og kompleksitet af model.

Figuren indikerer også, at omkostningerne stiger stærkt jo mere komplekse modellerne bliver. En meget lidt kompleks model med en ringe adfærdsbeskrivelse kan dog godt have kostet mange penge – f.eks. hvis der er gennemført en kostbar dataindsamling (jf. Nielsen, 1994, samt evalueringen af Femer Bælt modellerne, jf. Nielsen m.fl. 2000a). Omvendt kan en kompleks model med en god adfærdsbeskrivelse godt være relativt billig, eksempelvis hvis datagrundlaget allerede er indsamlet i anden sammenhæng.

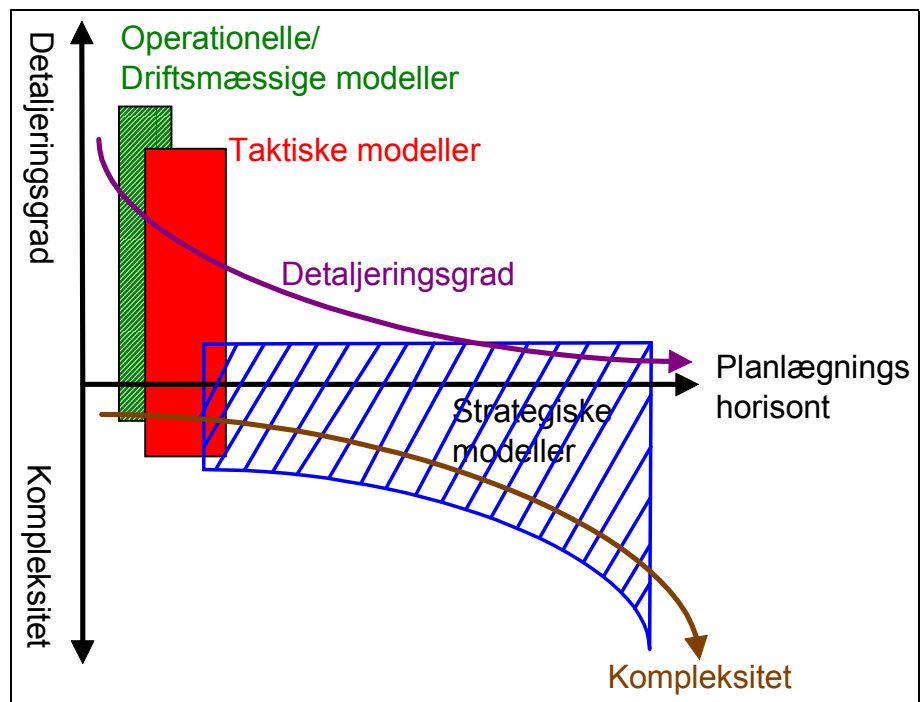
Samme fokus og kvalitet i delmodeller

Afledt af diskussionen om vurdering af projekters - og derved adfærdsmodellers – sigte, følger, at der bør være en rimelig overensstemmelse mellem fokus og kvalitet i de enkelte delmodeller. Eksempelvis er der i mange studier gennemført et stort arbejde med at estimere modeller for turfordeling og transportmiddelvalg, mens turfrekvensmodellerne tidligere ofte var simple regressionsligninger (jf. Nielsen, 1994) og netudlægningen foregik samlet efter heuristiske principper og bevidstløst brug af standardsoftware (jf. Nielsen, 2000d).

Figur 3 illustrerer sammenhængen mellem detaljeringsgrad og kompleksitet for forskellige planlægningshorisonter og strategiske niveauer.

Strategiske langsigtede modeller beskriver meget komplekse adfærds- og beslutningssammenhænge. Eksempelvis vil såvel rejsetider og –omkostninger, konkurrencen mellem transportmidler, biladgang og evt. beslutning om bilkøb, beskæftigelsesmuligheder,

m.v. indgå i en husstands beslutning om flytning. Husstandes ageren vil ved gennemgående politiske tiltag også påvirke bolig og arbejdskraftmarkedet, og ved meget strategiske analyser prisdannelserne i disse markeder. Normalt vil sådanne strategiske modeller ikke kræve en stor detaljeringsgrad, men derimod stor kompleksitet.



Figur 3. Sammenhæng mellem planlægningshorisont, detaljeringsgrad og kompleksitet.

Omvendt er *netværksmodeller* og *rutevalgsmodeller* relativt mindre komplekse, men kræver en stor detaljeringsgrad hvad angår beskrivelsen af f.eks. vejnettet og trafikafvikling.

I nogle sammenhænge vil der være et ønske om samspil mellem modeller på forskellige strategiske niveauer. Eksempelvis vil vurdering af trængselseffekter ofte kræve en meget detaljeret driftsmæssig/operationel model til at beskrive kapacitetsproblemer og afvikling i trafiknettet. Men denne model vil – såfremt trængselsproblemerne er store – skulle spille sammen med mere strategisk orienterede modeller. Eksempler på sådanne modeller er Havnetunnelmodellen (Paag & Jensen, 1999) og København-Ringsted modellen (Nielsen m.fl. 2000e).

Delmodeller er internt konsistente

En forudsætning for, at delmodeller er internt konsistente, er, at de eksplicit bygger på et velformuleret teorigrundlag; f.eks. stokastisk nytteteori, bruger equilibrium eller aktivitetsbaserede principper. Dette skal ses i relation til 1960'ernes rent heuristiske modelprincipper og modeller, der ofte opførte sig uforudset.

Udover et velformuleret metodisk grundlag bør der stilles en række mere tekniske krav til modellernes interne konsistens:

- Den statistisk estimation bør benytte hensigtsmæssige metoder. En væsentlig del af forskningen i modeller baseret på stokastisk nytteteori har netop fokuseret på den statistiske estimation. Et andet eksempel er 1970'ernes fejlagtige estimation af simultane trafikmodeller efter en logaritmisk transformation, hvilket skævvred estimaterne og modellernes egenskaber. Dette var formentligt årsagen til, at modeltypen blev forkastet

trods dens relevans i tidlige projektfaser, hvor der ikke er tid og økonomi til indsamling af diskrete disaggregerede valgdata.

- For en række forskellige modeller er det relevant at undersøge, om løsningsalgoritmen finder globale, robuste, konsistente og unikke løsninger. Dette gælder såvel stokastiske modeller, som løsningsalgoritmer til deterministiske modeller. Især i rutevalgmodeller har dette tidligere været et problem (Nielsen, 2000d).
- For stokastiske modeller skal det yderligere sikres, at modellerne konvergerer til en entydig unik løsning med en given nøjagtighed. Dette kan ikke kun ske ved konvergenstests inden for den enkelte beregning. Men der bør også gennemføres sammenlignende tests mellem beregninger med forskellige seed-værdier. Igen er problemstillingen særligt udtalt for rutevalgmodeller, men også ved mikrosimulering, aktivitetsbaserede modeller og mere strategisk orienterede modeller, der benytter simuleringsteknikker (f.eks. den såkaldte sample enumeration technique).

Delmodeller er konsistente med hinanden

Et helt essentielt krav er, at de enkelte delmodeller i et trafikmodelkompleks er konsistente med hinanden og bygger på sammenlignelige forudsætninger og teorigrundlag. Et velkendt eksempel er Williams (1977), der viste, at rejsemodstandene fra logitmodeller for transportmiddelvalg kun via log.summer kan tilbagekøbes konsistent til turfordelingsmodeller af gravitationstypen. Nastede logit-modeller er et mere generelt eksempel på internt konsistente valgmodeller (modsat en naiv sekventiel model).

Den interne konsistens mellem delmodeller sikrer kun, at modellerne ikke opfører sig ulogisk, f.eks. med forkert fortegn på elasticiteter i alt-andet-lige scenarier. At modellen i øvrigt har en hensigtsmæssig adfærdsbeskrivelse, sikres derimod ikke nødvendigvis af den interne konsistens.

Helt generelt kan det siges, at modeller, der bygger på stokastisk nytteteori, bør opbygges af nastede delmodeller (typisk logitmodeller) estimeret ud fra samme grunddata og med sammenlignelige nyttefunktioner. Rutevalgsmoellerne bør have sammenlignelige nyttefunktioner og segmentering som efterspørgselsmodellerne, idet manglende opfyldelse af dette krav ofte har givet anledning til ulogiske elasticiteter i praksis.

Simultane modeller er i sagens natur sikret intern konsistens, men her kan der være en række andre metodiske problemer. Derudover bør der stilles samme krav til interaktion med rutevalgsmoellerne som for de sekventielle modeller.

Et særligt problem er samspillet mellem traditionelle trafikmodeller (øverste halvdel af figur 1) og mere strategiske modeller. Her kan det være vanskeligt at sikre konsistens mellem traditionelle 4-trinsmodeller, og eksempelvis generelle ligevægtsmodeller (et tilfælde, hvor en aktivitetsbaseret trafikmodel måske lettere kan indpasses). Derimod opnås konsistens med 4-trinsmodellen lettere, hvis også de strategiske modeller bygger på stokastisk nytteteori (eller videre udbygget som mikroøkonomiske programmer). Men dette kan vanskeliggøre beskrivelsen af nogle strategiske effekter, f.eks. løndannelse og priser på boligmarkedet.

Internationalt anerkendte metoder

Normalt vil man kræve, at trafikmodeller benytter internationalt anerkendte metoder.

- For fuldskala efterspørgselsmodeller er der i praksis rimelig konsensus om modeller, der bygger på stokastisk nytteteori (jf. eksempelvis konklusionen på Large Scale Modelsessionen ved 9th International Conference on Travel Behaviour Research, Queensland, 2000). Men der er en stigende forskningsmæssig fokus på aktivitetsbaserede modeller (i øvrigt ofte byggende på stokastisk nytteteori), og enkelte sådanne modeller er implementeret i praksis. Simultane modeller benyttes igen – efter års fravær - i enkelte tilfælde i tidlige skitse-mæssige projektvurderingsfaser, før fuldskala modeller implementeres.
- Derimod er der mindre konsensus om rutevalgmodeller. Jf. Nielsen (2000d) må det dog anbefales, at der benyttes nyttebaserede modeller baseret på stokastisk brugerligevægt og med samme segmentering i turformål o.l. som efterspørgselsmodellerne. Detaljeringsgraden af kapacitets, forsinkelses og regularitetsmodellerne vil afhænge af behov i den konkrete analyse.
- For mere strategiske effekter må trafikmodelområdet derimod siges at befinde sig i sin vorden, idet der ikke er konsensus om et fælles metodegrundlag. En række modeller kombinerer mikroøkonomiske forudsætninger og stokastisk nytteteori. Andre bygger rent på stokastisk nytteteori. Derudover har nogle modeller et så strategisk sigte, at de bygger på teorigrundlag fra den økonomiske forskning, f.eks. generelle ligevægtsmodeller eller regionaløkonomiske modeller. Endelig kan aktivitetsbaserede modeller udvides til at omfatte strategiske valg.

Trods ovennævnte konsensus vedr. metodevalg for især efterspørgselsmodeller, bør nye tilgange imidlertid ikke afvises fuldstændigt, idet den faglige udvikling da ville være fastlåst. Men hvis der benyttes metoder, der (endnu) ikke er internationalt anerkendt, bør der føres såvel et teoretisk bevis som ekstra grundige eksperimentelle tests. Dette bør dokumenteres ekstra grundigt i forhold til mere velkendte modeltyper.

Data

En trafikmodel består af såvel data som metodegrundlag, hvorfor datagrundlaget bør vurderes lige så grundigt som metoderne:

- Ofte benyttes uforholdsmæssigt store ressourcer til dataindsamling i forhold til modelopbygningen (især for assignmentmodeller), mens det modsatte også forekommer. Samspillet mellem data og model vil naturligvis afhænge af tilgængeligheden af data fra andre kilder.
- Data bør være up-to-date. Hvilket i en række tilfælde – f.eks. turmatricer – sjældent er tilfældet på grund af de store omkostninger derved.
- Data bør kvalitetssikres og valideres grundigt. Ofte vil selv få fejl kunne medføre væsentlige problemer i en trafikmodel.

- Derudover er det vigtigt, at det er selve trafikmodellen, der kalibreres. Dette bør foregå ved justeringer af modellens formeludtryk eller ved tilføjelse af korrektionskonstanter og pivotmatricer, hvorved modellens svagheder fremgår eksplicit. Derimod bør modellen ikke kalibreres ved at ”fille” med grunddata, f.eks. længden af zoneophæng eller hastigheder på vejstrækninger.
- Turmatricer er en gråzone mellem data og model, idet dele af matricerne ofte fremstille syntetisk, ligesom de evt. kalibreres ud fra snittællinger. Matricerne benyttes derefter typisk til at estimere modellerne og indgår yderligere i evt. pivotmetoder. Således er kvalitetssikring af de underliggende turmatricer essentiel for at sikre en god kvalitet af den samlede trafikmodel.
- Estimering og kalibrering, samt validering bør klarlægge usikkerheder i udgangsåret.

Modellen er anvendelig i praksis

Endelig er det vigtigt, at modellen er anvendelig i praksis. Blandt andet skal det sikres at:

- Den faglig kvalitet lever op til de mål og krav om nøjagtighed, der stilles til det konkrete projekt.
- Beregningstiden er overkommelig, og muliggør usikkerhedsvurderinger og scenarieanalyser. I praksis er det et vanskeligt krav, der ofte er i modstrid med kravet om faglig kvalitet.
- Modellen er edb-mæssig håndterbar, så arbejdsindsatsen ved dens brug ikke er uforholdsmæssig stor, og så der ikke opstår fejl alene som følge af betjeningsvanskeligheder. Dette kan sikres med en ”modelramme”, der styrer de forskellige delmodeller og flows mellem delmodeller, med en automatiseret styring af scenarier, forudsætninger og versioner, samt med opbevaring af forudsætninger for den enkelte beregning i logfiler, etc.
- Der i modelsystemet er indbygget så mange metoder til kvalitetscheck som muligt, f.eks. til sikring mod topologiske fejl i trafiknettene.
- Brugerfladen eller outputformaterne giver mulighed for fortolkning og analyse af modellens resultater. Dette vil ofte forde, at resultater både gemmes i deres endelig aggregerede form og gemmes på disaggregeret form til brug for kvalitetstjek.
- Resultater kan stilles til rådighed i gængse formater (f.eks. GIS eller databaser), så tredjepart uafhængigt kan analysere såvel overordnede resultater, som resultater af delmodeller og resultater på et disaggregeret niveau.

Dokumentation og validering

En væsentlig forudsætning for vurderinger af trafikmodeller er, at dokumentationen er dækkende og transparent. Ekspertgruppen i EU-projektet SPOTLIGHT¹ under det 5.

¹ Marc Gaudry (editor), Département de sciences économiques, Université de Montréal, Montréal +

rammeprogram udvikler en række kriterier og anbefalinger for dokumentationen af trafikmodeller. Disse kan i oversigtsform struktureres på matrix-form som vist i tabel 1:

	Metodisk vurdering		Praktisk vurdering	
	Reproducerbarhed	Kravsopfyldelse	Forståelighed	Tilgængelighed
Data				
Metoder og teori-grundlag				
Kvantificering og estimering				
Kalibrering og validering				
Resultater				

Tabel 1. Kriterier til vurdering af trafikmodeller og deres dokumentation (modificeret udgave af foreløbige anbefalinger fra EU-projektet SPOTLIGHT).

Det bør være muligt at foretage en metodisk vurdering af modellen ud fra dokumentationen, hvorfor dens metodiske opbygning skal være *reproducerbar* ud fra dokumentationen. Dette omfatter en beskrivelse af alle indgående formeludtryk (med mindre de er så kendte – f.eks. den traditionelle logitmodel – at det er tilstrækkeligt verbalt at nævne modeltypen), indgående variable, estimerede parametre og koefficienter, samt resultater af deres statistiske estimation.

I nogen tilfælde vil det ud fra en reproducerbar metodisk beskrivelse af modellen være muligt for eksperter at vurdere, om den opfylder de opstillede krav. Imidlertid er der ofte foretaget en række (fra)valg i forbindelse med opbygningen af modellen, der kan have betydning for vurdering af dens *kravsopfyldelse*. Eksempelvis kan det have været et krav, at modellen skulle kunne beskrive en bestemt variabls betydning for turfrekvensen. Den efterfølgende estimation af modellen kan måske have vist, at denne variabel med den givne stikprøvestørrelse havde så lille betydning for trafikanternes valg, at den ikke kunne estimeres signifikant. I dette tilfælde bør begrundelsen for fravalget af variabelen fremgå af dokumentationen, idet dette er en del af grundlaget for vurdering af modellens kravsopfyldelse.

Af hensyn til den praktiske vurdering af modellen, bør den beskrives på en *forståelig* måde, hvor bl.a. følgende bør indgå:

- Fravalg af budgetmæssige årsager.
- Modellens begrænsninger og fokus.

Bureau d'économie théorique et appliquée (BETA) Université Louis Pasteur, Strasbourg + Agora Jules Dupuit (AJD), Centre de recherche sur les transports (CRT), Montréal med deltagelse af Otto Nielsen, CTT/DTU, Dimitrios Tsamboulas, Department of Transportation Planning and Engineering, National Technical University of Athens, Warren Walker, Faculteit Techniek, Bestuur en Management, Technische Universiteit Delft, Delft, og Luis Willumsen, Steer Davies Gleave, London.

- Vurderinger af interne usikkerheder i data, variable og resultater.
- Inputvariablers følsomheder for forskellige scenarier, og afledt deraf prognosefølsomhed.
- Gennemførelse af samlede scenarieanalyser, hvor flere variable varieres samtidigt.
- Break-even og worst case scenarier for centrale variable og forudsætninger.

Endelig bør det være muligt at vurdere, hvor tilgængelig modellen er, f.eks.

- Beregningstid og omkostninger ved kodning af nye scenarier.
- Om det er muligt for tredjepart at betjene modellen.
- Om det er muligt at få leveret resultater – herunder mellemregninger og disaggregerede resultater – i standardformater.

Organisering af modelprojekter

Trafikmodelarbejder kan organiseres på mange forskellige måder, der hver har fordele og ulemper. Formålet med artiklen er ikke at gå i detaljer hermed.

Derimod er det centralt, at der sker en stærk faglig styring og opfølgning hos såvel den udførende part, som hos rekvirenten. Såfremt sidstnævnte ikke har tilstrækkelig specialistviden, bør denne viden indhentes fra en anden ekstern part end den udførende – f.eks. en bygherrerådgiver.

Imidlertid varetages denne funktion ofte af følge- og styregrupper. Kommentarer herfra følges ofte ikke op, ligesom arbejdet som regel sker på filantropiske vilkår og på en mangelfuld og forsinket dokumentation. Dette kan devaluere værdien af gruppens arbejde til et 'overfladisk gummistempelritual', hvorfor kommissoriet for følge- og styregrupper bør overvejes grundigt, inden de iværksættes.

I modellen med bygherrerådgivere er der derimod en vis risiko for, at der er et for stærkt kunde-rekvirent afhængighedsforhold. Dette er især et problem, hvis det er rekvirenten – ikke bygherrerådgiveren – der har ansvaret og kontakten i forhold til den udførende rådgiver.

En god yderligere sikring af modelprojekters kvalitet er, at modelarbejder i såvel udbuds som afleveringsfase udsættes for uafhængigt eksternt review, der efterfølgende følges op.

For ikke at sammenblende kravsspecificering, udførelse og kontrol, er det således vigtigt, at såvel modelbygger, rekvirent og reviewer er så uafhængige, som de nu kan blive inden for en lille dansk branche.

En så udbygget projektororganisation som foreslået her vil af økonomiske grunde primært være relevant i forbindelse med større modelprojekter.

Konklusion, debat og diskussion

Trods de mange faldgrupper, der er ved trafikmodelprojekter, er det vores opfattelse, at trafikmodeller er et vigtigt og brugbart værktøj til at støtte trafikpolitiske og driftsmæssige

beslutninger. Uden trafikmodeller ville både overordnede beslutninger og valg mellem delløsninger bygge på rene gætterier, med risiko for uhensigtsmæssige beslutninger.

Men der bør som nævnt i artiklen stilles store krav til organisering af modelprojekterne og modellerne, ligesom der i højere grad end i dag bør tages hensyn til usikkerheder og risici i såvel modellerne som deres forudsætninger. Derudover er det vigtigt, at der foregår en grundig og åben dokumentation af - og debat om - konkrete modeller, fremfor at deres problemer søges fejlet ind under guldtæppet.

Artiklens anbefalinger vil forhåbentligt lede til en højere kvalitet af danske modeller fremover og resultere i en mere kvalificeret brug af dem.

referencer

Ben-Akiva & Lerman. *Discrete Choice Analysis – Theory and Application to Travel Demand*. MIT press, 1985.

Boding-Jensen, Dan (2000). Fokus på modellernes magt over miljøet søges. *Ingeniøren*, Maj.

Carl Bro Rådgivende ingeniører (2000). Diverse nyt materiale vedr. Femer bælt modellen: Test med alternative biltakster på den faste forbindelse (Wulf Wätjen, 11 maj), Muligt scenario med fast forbindelse og parallel færge over Femer-bælt (Wulf Wätjen, 11 maj), Trafik over Storebælt i Femerbæltmodellen – revideret (Wulf Wätjen, 11 maj).

Egnsplanrådet. *Greater Copenhagen Regional Transportation Study*. 1967.

FTC, Fehmarnbelt Traffic Consortium (1999a). *Fehmarnbelt Traffic Demand Study. Final Report*. Bundesministerium für Verkehr, Bonn. Trafikministeriet, København. January.

FTC, Fehmarnbelt Traffic Consortium (1999a). *Fehmarnbelt Traffic Demand Study. FemEx*. Bundesministerium für Verkehr, Bonn. Trafikministeriet, København. March.

FTC, Fehmarnbelt Traffic Consortium (2000). *FTC – Final Report of January 1999 – Revised Chapter 3 – 3.3*.

Hamann, Svend B (1967). *Prioritering af den jyske motorvej*. Eksamensarbejde ved IMSOR, DTU.

Humlum, Johannes (1960). *Landsplanlægningproblemer 1966*. Kapitel heri. Planen oprindeligt foreslået i Politikken 1960.

Marfelt, Birgitte (1995a). Trafikforskere advarer mod manipulation – Det faglige grundlag for de store trafikbeslutninger er for dårligt kritiserer trafikforskere. *Ingeniøren*, nr. 35.

Marfelt, Birgitte (1995b). Trafikmodellers skjulte dagsorden – Et dyrt gummistempelritual – er en af den mange beskyldninger, der rettes mod trafikmodeller. *Ingeniøren*, nr. 35.

Marfelt, Birgitte (1995c). Lov skal forebygge modelsnyd – Ombudsmandens retschef foreslår lovregulering – SF ønsker modelbevilling til Transportrådet. *Ingeniøren*, nr. 38.

Marfelt, Birgitte (1995d). Modeller har ikke noget med sandheden at gøre – Konferencen ”Magt og modeller” afslørede store forskelle i opfattelsen af modeller i samfundets tjeneste. *Ingeniøren*, nr. 38.

Marfelt, Birgitte (2000a). Dårlig analyse undervurderer Femern-trafik. *Ingeniøren*, nr. 3.

Marfelt, Birgitte (2000b). Minister bekræfter kritik af Femern-analyse. *Ingeniøren*, nr. 13. Nielsen, O.A. (1994). *Optimal brug af trafikmodeller*. IVTB/DTU. Ph.D.-afhandling.

- Nielsen, O.A. (1995). Trafikmodeller har ofte stor usikkerhed – kommentar, *Ingeniøren*, nr. 42.
- Nielsen, O.A., Rørbech, J. & Flyvbjerg, B. (2000a). Notat om arbejdet med vurdering af trafikanalyser og –prognoser, Femer Bælt. *Konference om beslutningsgrundlaget for Femer Bælt-forbindelsen, den 13/1²*.
- Nielsen, O.A og, Rørbech, J. (2000b). Derfor er vi kritiske over for trafikprognoseerne. *Ingeniøren* nr. 15.
- Nielsen, O.A og, Rørbech, J. (2000c). Femerbro på vej – kommentar. *Berlingske Tidende* den 7/4.
- Nielsen, O. A. (2000d). Udvikling af rutevalgsmodeller – Fra heuristisk til metodisk grundlag. Prispaper, præsenteret ved *Trafikdage på AUC*. Supplementsbind.
- Nielsen, Otto Anker; Hansen, Christian Overgaard; Daly, Andrew (2000e). A Large-scale model system for the Copenhagen-Ringsted railway project. *9th International Conference on Travel Behaviour Research*. Proceedings, Vol. 8, Methods Workshop 7: Microeconomic perspectives on traveller behaviour and valuation research. Gold Coast, Queensland, Australia, July.
- Ortúzar & Willumsen (1990). *Modelling Transport*. John Wiley & Sons.
- Overgaard, Knud Rask Overgaard (1964). Trafikplanlægning i byer. Licentiatarbejde ved Laboratoriet for Vej- og Jernbanebygning samt Byplanlægning, DTU. I 1966 engelsk udgave på *Acta Polytechnica Scandinavica*.
- Paag, Henrik & Jensen, Henrik Nejst. (1999). Havnetunnel i København. *Trafikdage på AUC*.
- Rørbech, Jens. Historien bag Farøbroerne. *Politica* nr.4, 1986.
- Thorson, Ole (1967). *Traffic Accidents and Road Layout*. Licentiatarbejde ved Laboratoriet for Vej- og Jernbanebygning samt Byplanlægning, DTU.
- Trafikministeriet (1999a). *Femer Bælt-forbindelsen. Forundersøgelser – Resumérapport*. Marts.
- Trafikministeriet (1999a). *Femer Bælt-forbindelsen. Økonomiske undersøgelser*. August.
- Vejdirektoratet (1962). *Anlæg af motorveje i Jylland*.
- Vejdirektoratet (1972). *Motorvejsstrækningen Skødstrup – Tåstrup*. Rapport.
- Vejdirektoratet (1976). *Trinvis udbygning af motorveje i det lille H*. Rapport.
- Vejdirektoratet (1981). *Prioritering 1981*. Rapport.
- Vejdirektoratet (1985). *Prioritering 1985-1987*. Rapport.
- Wegener, M. (1998) Applied Models of Urban Land Use, Transport and Environment: State of the Art and Future Developments. Batten, D. Kim, T. K-J. Lundqvist, L. Mattsson, L.G.Hg.: *Network Infrastructure and the Urban Environment: Recent Advances in Land-use/Transportation Modelling*. Berlin/Heidelberg/New York: Springer Verlag.
- Williams, H. C. W. L. (1977). On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefits, *Environment and Planning*. 9A, pp. 285-344.
- Williams, H. C. W. L. and Senior, M. L. (1977). Model based transport policy assessment: (2) Removing fundamental inconsistencies from the models *Traffic Engineering and Control*. 18(10), pp. 464-469.

² Foreligger i konferencerapporten: Femer Bælt forundersøgelser – resumé af konferencen, den 13. januar 2000. Notat nr. 00.01 Marts 2000. Kan downloades fra <http://www.transportraadet.dk/> - >publikationer->notater fra 2000->Femer Bælt Forundersøgelser