



Trafikplanlægning og GIS-baserede konsekvensberegninger

Kronbak, Jacob; Leleur, Steen; Nielsen, Otto Anker

Publication date:
1998

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Kronbak, J., Leleur, S., & Nielsen, O. A. (1998). Trafikplanlægning og GIS-baserede konsekvensberegninger. Kgs. Lyngby, Denmark: Technical University of Denmark (DTU).

DTU Library

Technical Information Center of Denmark

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

FORORD

Denne afhandling præsenterer hovedelementerne i mit ph.d. studie. Ph.d. projektet er udført i perioden oktober 1994 til juni 1998 ved Institut for Planlægning (IFP)¹ ved Danmarks Tekniske Universitet (DTU).

Ph.d. stipendiet har været finansieret af Transportrådet i samarbejde med Forskerakademiet som en del af GIS-T forskningsprojektet ved Institut for Planlægning ved Danmarks Tekniske Universitet.

Projektet "**Trafikplanlægning og GIS-baserede konsekvensberegninger**" indgår således som en del af GIS-T projektet hvis formål har været at igangsætte et indsatsområde ved IFP vedrørende anvendelse af Geografiske Informations Systemer (GIS) i trafikplanlægningen (GIS-T). GIS-T projektets primære sigte har været at forbedre det generelle metodegrundlag inden for trafikplanlægning snarere end at kortlægge konkrete problemstillinger, og dette sigte ligger også til grund for det nærværende ph.d. projekt.

Jeg vil samtidig benytte lejligheden til at takke alle de personer, der på forskellig måde har ydet den støtte, råd og vejledning, der har været nødvendig for, at jeg har kunnet gennemføre studiet.

Først og fremmest vil jeg takke min vejleder Docent Steen Leleur og min medvejleder forskningsadjunkt Otto Anker Nielsen. De har bidraget væsentligt til projektet med råd og vejledning ikke mindst i form af konstruktive diskussioner.

En tak skal også lyde til personale og studerende ved instituttet for den hjælp og inspiration jeg har modtaget under studiet. En speciel tak går i den forbindelse til Erik Rude Nielsen, Thomas Israelsen og ikke mindst Bo Grevy for et uvurderlige samarbejde omkring programmering af AML, til Per Thorlacius for samarbejdet i forbindelse med Landsplanredegørelsen, til Tracy L. Reed for samarbejdet i forbindelse med den aggregerede tilgængelighed, til Erik Kjems for lån af AML'er og til Susanne Balslev Nielsen for kommentarer til afhandlingen. Endelig vil jeg takke Claus Rehfeld Moshøj for de uvurderlige kommentarer og kritik, som han har bidraget med i de år, vi har delt kontor.

Til sidst skal der lyde en helt speciel tak til mine forældre og min bror, der var tilstede da det var nødvendigt, og hjalp mig gennem de 7 måneders sygdom, jeg desværre blev ramt af under studiet.

Jacob Kronbak

Institut for Planlægning
Danmarks Tekniske Universitet

Juni 1998

¹ Tidlige Institut for Veje, Trafik og Byplan (IVTB)

RESUME

Denne afhandling omhandler anvendelsen af geografiske informationssystemer (GIS) inden for trafikplanlægningen med hovedvægt på beregninger af trafikens konsekvenser. Afhandlingens titel er "Trafikplanlægning og GIS-baserede konsekvensberegningsmodeller".

Afhandlingen indledes med en gennemgang af begreber, definitioner og terminologi for geografiske informationssystemer. På den baggrund gennemgås mulighederne for at implementere multimodale netværk i GIS, og der præsenteres en række metoder til at modellere en trafikterminal som netværksobjekt i et geografisk informationssystem. Anvendelsen af GIS i forbindelse med den multimodale trafikplanproces afhænger i høj grad af modelleringen af de multimodale netværk.

Efterfølgende er gennemgået en række eksisterende implementeringer i GIS af konsekvensberegningsmodeller for støj, emissioner, barriereeffekt og uheldsmodeller.

Som udgangspunkt for en ny type af konsekvensberegningsmodeller præsenteres det teoretiske grundlag, i form af en konsistent taksonomi, for begreberne tilgængelighed og mobilitet. De to begreber defineres som:

Tilgængeligheden beskriver den lethed, hvormed enhver arealbaseret aktivitet kan nås fra en lokalitet, ved anvendelse af et givet transportsystem.

Mobilitet beskriver den lethed, hvormed et individ kan bevæge sig bort fra en given lokalitet, ved anvendelse af et givet transportsystem.

Samtidig introduceres begreberne potentialet og det oplevede potentiale:

Potentialet beskriver individets muligheder for at deltage i aktiviteter.

Det oplevede potentiale beskriver individets opfattelse af mulighederne for at deltage i udvalgte aktiviteter.

Den opstillede taksonomi for tilgængelighed og mobilitet anvendes efterfølgende i forbindelse med implementeringen af tre forskellige typer af tilgængelighedsmål i det geografiske informationssystem ARC/INFO. Denne implementering gav anledning til at påpege en række forhold, der kræver særlig opmærksomhed ved anvendelsen af GIS i trafikplanlægningen. Implementeringen ledte desuden til den konklusion, at det må anses som en væsentlig barriere for anvendelsen af GIS i trafikplanprocessen, at udviklingen af GIS-baserede modeller i trafikplanlægningen kræver enten en GIS ekspert med en stor faglig indsigt eller en trafikplanlægger med en stor indsigt i GIS. Der er på trods af denne begrænsning tilsyneladende et lovende perspektiv for anvendelse af tilgængelighed i trafikplanprocessen. Dette understøttes af, at to af de udviklede og implementerede mål for tilgængeligheden allerede har været anvendt i henholdsvis Landsplanredegørelsen [Landsplanafdelingen (1996)] og EU projektet EUNET [EUNET (1997)].

Som en illustration af hvordan GIS også kan anvendes til andre typer af planlægningsværktøjer præsenteres til slut i afhandlingen et forslag til en struktur for en korridormodel. På baggrund af den foreslåede struktur er en prototype af korridormodellen (COPE) implementeret i det geografiske informationssystem ARC/INFO. I forbindelse med implementeringen er desuden gjort opmærksom på en vigtig problemstilling omkring vægning og værdisætning i en korridormodel. Interessen for en GIS-baseret korridormo-

del understøttes af, at COPE modellen skal anvendes og videreudvikles i EU projektet CODE-TEN.

Der tegner sig således et særdeles interessant perspektiv for fremtidig anvendelse af geografiske informationssystemer som en integreret del af trafikplanprocessen og for anvendelsen af de modeller, der er udviklet i forbindelse med denne afhandling.

ABSTRACT

This dissertation is about the use of Geographical Information Systems (GIS) within traffic planning with special emphasis on impact assessment. The title of the dissertation is "Traffic Planning and GIS-based Impact Assessment".

The dissertation starts with identifying the concepts, definition and terminology of Geographical Information Systems. Based on these findings the possibilities for implementing multi-modal traffic networks in GIS are evaluated and a number of different methods for modelling traffic terminals as network objects are presented. The use of GIS for multi-modal planning depends heavily on this modelling of the multi-modal network.

A number of existing implementations of impact models for estimating traffic noise, emissions, severance and accidents in GIS is evaluated.

A consistent taxonomy for the concept of accessibility and mobility is presented as basis for a new type of models for impact assessment. Accessibility and mobility is defined as:

Accessibility describes the ease with which any spatial activity can be reached from a given location by the use of a transport system.

Mobility describes the ease with which any individual can move away from a given location by the use of a transport system.

At the same time the concept of potential and perceptive potential is introduced.

The potential describes the possibilities for the individual to participate in activities.

The perceptive potential describes the individual perception of the possibilities for participating in activities.

The accessibility and mobility taxonomy is used as basis for implementing 3 different types of accessibility measures in the Geographical Information System ARC/INFO. The implementation pointed out a number of conditions, which demanded special attention when using GIS for traffic planning. The implementation also led to the conclusion that the need for either a traffic planner with sufficient insight in GIS or a GIS expert with sufficient insight in traffic planning must be considered a major barrier for utilising GIS in the traffic planning process. Despite this limitation there still exists a promising perspective for the use of GIS in the traffic planning process. This perspective is supported by the fact that two of the implemented accessibility measures already are been used in connection with the Landsplanredegørelse [Landsplanafdelingen (1996)] and the EU project EUNET [EUNET (1997)].

To illustrate the possibility for using GIS for other type of traffic planning tools a structure for a corridor planning tool is presented. Based on this structure a prototype of a corridor model (COPE) is implemented in the Geographical Information System ARC/INFO. The implementation pointed out that especially the weighing and pricing in a corridor model need special attention. The COPE corridor model will be used and further developed in the EU project CODE-TEN.

There thereby seems to be a promising perspective for future use of GIS as an integrated part of the traffic planning process and for the future use of the models developed as part of this dissertation.

1. INDLEDNING

Gennem de senere år er brugen af Geografiske InformationsSystemer (GIS) blevet mere og mere udbredt, ikke kun inden for de direkte geografiske fag som f.eks. geologi, geografi og landmåling, men anvendelsen har også bredt sig til andre områder bl.a. den fysiske planlægning.

Imidlertid har teorien længe været et godt stykke foran de praktiske resultater i form af implementeringen af brugbare modeller i geografiske informationssystemer, i hvert tilfælde inden for trafiksektoren. Det har derfor været intentionen, at dette ph.d. projekt skulle bidrage til at mindske denne afstand mellem teori og praktisk implementering.

En medvirkende årsag til den forholdsvis begrænsede anvendelse af GIS inden for trafikplanlægningen er formentlig, at udvikling af modeller til brug i geografiske informationssystemer kræver et indgående kendskab til begreber og metoder inden for såvel GIS som trafikplanlægningen. En del af formålet med denne afhandling har således været at illustrere potentialet for brug af GIS inden for trafikplanlægningen.

Der eksisterer i øjeblikket en stigende interesse for en multimodal trafikplanproces. En forudsætning for at anvende GIS i en sådan planproces er imidlertid, at det er muligt at modellere det multimodale netværk. En undersøgelse af denne mulighed indgår således i afhandlingen.

I forbindelse med beregningen af trafikens konsekvenser er der p.t. implementeret en række eksisterende konsekvensberegningssystemer i GIS. Disse modeller omfatter bl.a. beregning af støj, emissioner, barriereeffekt og uheld. Fælles for disse modeller er, at de først på et senere tidspunkt er blevet implementeret i GIS. Disse implementeringer gennemgås og kommenteres i afhandlingen.

Endvidere omhandler afhandlingen en teoretisk undersøgelse af begreberne trafikale tilgængelighed og mobilitet med henblik på at inddrage tilgængeligheden som en del af sættet af konsekvensberegninger i forbindelse med trafikplanlægningen. Disse to begreber anvendes ofte som synonyme og som udtryk for et planlægningsmål, der sjældent bliver yderligere defineret eller konkretiseret. Det har således været et af formålene med afhandlingen at opstille en konsistent taksonomi for disse begreber samt at beskrive, hvorledes begreberne kan transformeres indtil operationelle mål. Det har samtidig været intentionen, at transformationen af tilgængelighed og mobilitet indtil operationelle mål skal illustrere mulighederne for anvendelsen af GIS i trafikplanprocessen.

Anvendelsen af GIS i forbindelse med trafikplanprocessen er imidlertid ikke kun begrænset til at omfatte modelleringen af trafikens konsekvenser. De geografiske informationssystemer giver også nye muligheder for at anvende planlægningsmodeller på et mere overordnet strategisk planlægningsniveau, bl.a. inden for planlægningen af transportkorridorer. En opstilling og en implementering af en sådan korridormodel har således også været en del af formålet med afhandlingen.

På denne baggrund indledes afhandlingen i kapitel 2 med en gennemgang af principper og definitioner i GIS. På trods af den koncentrerede form er kapitlet vigtigt, idet det danner grundlaget for en forståelse for det potentiale, som brugen af GIS har inden for trafikplanlægningen. Har man allerede et indgående kendskab til begreber, definitioner og terminologien inden for geografiske informationssystemer kan dette kapitel læses mere sporadisk.

I kapitel 3 gennemgås forskellige muligheder for modellering af multimodale netværk i GIS. Det er p.t. ikke muligt direkte at modellere de multimodale netværk i GIS, men i kapitel 3 beskrives en pseudometode til en sådan modellering.

Kapitel 4 præsenterer en række implementeringer af eksisterende konsekvensberegningsmodeller i GIS. Disse modeller har alle det til fælles, at de er udviklede til at beregne på et strækningsbaseret netværk og dermed kun i begrænset omfang udnytter de rumlige muligheder i de geografiske informationssystemer.

I kapitel 5 præsenteres det teoretiske grundlag for begreberne tilgængelighed og mobilitet. Teorien anvendes efterfølgende i kapitel 6 til implementering af tre forskellige typer af tilgængelighedsmål i GIS.

Som en illustration af hvordan brugen af GIS kan anvendes til andre typer af planlægningsværktøjer præsenteres i kapitel 7 et forslag til en struktur for en korridormodel. På baggrund af den foreslået struktur er en prototype af korridormodellen (COPE) implementeret i GIS.

Afhandlingen afsluttes med en samlet konklusion og perspektivering i kapitel 8 og i appendiks II findes et overblik over de aktiviteter, der har været en del af ph.d. studiet.

2. PRINCIPPER OG DEFINITIONER I GIS

Dette kapitel indeholder en generel introduktion til Geografiske Informations Systemer og en beskrivelse af en række af de specifikke elementer og definitioner relateret til GIS, der er nødvendige for at forstå dele af afhandlingen². Besidder man allerede et indgående kendskab til fagområdet kan kapitlet anvendes til opslag eller læses sporadisk.

Man kan, måske en smule filosofisk, sige, at GIS teknologien er bygget op omkring spørgsmålet: *Hvad nu hvis?* [Maguire, D.J., Goodchild, M.F., Rhind, D.W. (1991)]. Dette spørgsmål er faktisk meget dækkende for forståelsen af hvad geografiske informationssystemer egentlig er og ikke mindst, hvad de kan bruges til. Det er vigtigt, at man ikke opfatter et GIS som en nøglefærdig løsning, der bare skal installeres på en computer, hvorefter man kan begynde at stille sine *Hvad nu hvis?* spørgsmål. I stedet bør man opfatte et GIS som en værktøjskasse (tool-box), hvorfra man kan hente en lang række værktøjer, med hvilke man kan sammensætte et system, der passer til den opgave, man er sat til at løse. Det er størrelsen af denne værktøjskasse og værktøjernes anvendelighed, der har gjort, at anvendelsen af GIS er blevet mere og mere udbredt gennem de senere år, også inden for den fysiske planlægning.

2.1 INDLEDNING

GIS er, som tidligere nævnt, forkortelsen for et geografisk informations system. Som navnet antyder, er en del af systemets formål at kunne visualisere geografisk relaterede informationer og det er oftest denne visualisering, der forbindes med det GIS. Men visualiseringen er kun en del af et geografisk informationssystem, idet der i forbindelse med GIS er en stærk dualitet mellem dels visualiseringen af informationer og dels måden disse informationer opbevares på. Dette kapitel ser nærmere på denne dualitet, dels i afsnittet om opbygningen af et GIS og dels i afsnittet om Datamodellering.

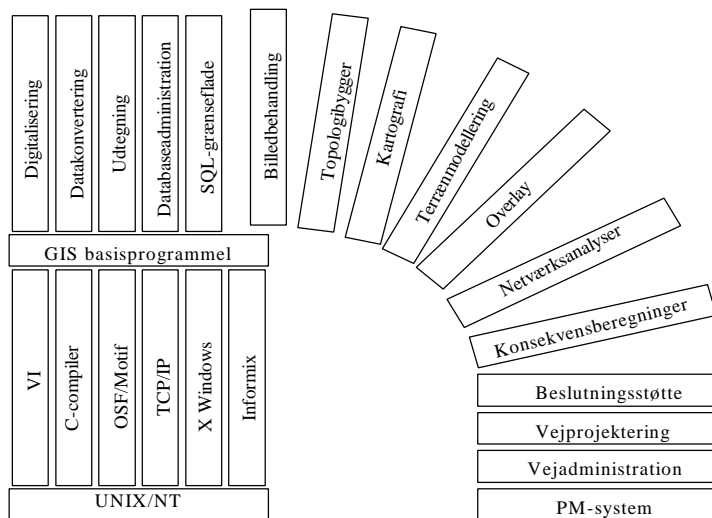
2.2 OPBYGNINGEN AF ET GIS

Helt generelt kan et GIS bruges til at opbygge en "geografisk" virkelighed med udgangspunkt i de forhold man ønsker at modellere. Denne geografiske virkelighed består af flere forskellige elementer, hvor sammenhængen med den "fysiske" virkelighed skabes med georeferencer [Goodchild, M. F. (1990a) og Kaae Petersen, J. (1992)].

De fleste geografiske informationssystemer er opbygget med et grundmodul, der hviler på f.eks. en UNIX eller NT platform, samt en række programmoduler, der kan udføre mere eller mindre specifikke opgaver, som skitseret på Figur 1.

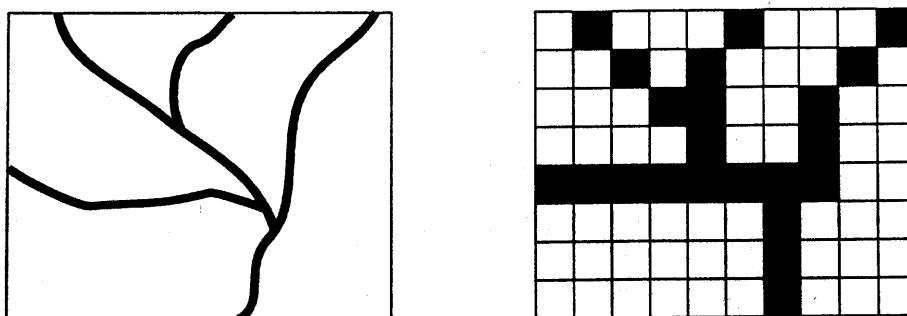
² Dette kapitel er baseret på et forelæsningsnotat [Kronbak, J. & Rehfeld, C. (1996)] anvendt i undervisningen ved IFP.

Figur 1. Principskitse af opbygningen af GIS programmel. Normalt opbygges systemerne med et grundmodul samt en række standard applikationsmoduler. I forbindelse med opbygningen af et GIS-T vil der skulle udvides med en række trafikspecifikke applikationsmoduler [Tegning frit efter Kaae Petersen, J. (1992)].



Man skelner mellem to forskellige former for datarepræsentation i et GIS - vektor og raster. En vektor kan igen repræsenteres på to forskellige måder, enten med et begyndelsespunkt, en retning og en længde eller ved et begyndelsespunkt og et endepunkt. I forbindelse med GIS benyttes stort set kun den sidste form for vektorrepræsentation. Ved en rasterrepræsentation opdeler man sin geografiske virkelighed med et kvadratnet. Størrelsen af den enkelte celle i dette net kan variere, svarende til den nøjagtighed man ønsker eller den lagerplads der er til rådighed. På Figur 2 er skitseret hvordan et kort indeholdende lineære objekter vil se ud i henholdsvis vektor og rasterrepræsentation.

Figur 2. Illustration af hvordan et lineært objekt bliver repræsenteret med henholdsvis vektorer og raster [ESRI (1994)].



Linear features represented in a grid.

Såvel vektor som rasterrepræsentationen kan udvides fra de 2 dimensioner (2-D) der er vist på Figur 2 til 3 dimensioner (3-D). Imidlertid stiller et 3-D GIS store krav dels til beregningshastigheden og dels til lagerkapaciteten og håndtering af begreber som topologi (se nedenfor) bliver væsentlig mere kompleks. Derfor er geografiske informationssystemer i dag udelukkende udformet som 2-D systemer. Man har dog mulighed for at tilknytte den tredje dimension som en attribut til et punkt i planen. Denne form for "fiktiv" 3-D

benævnes normalt $2\frac{1}{2}$ -D idet der kun vha. forholdsvis komplicerede algoritmer er muligt at regne på det 3 dimensionale tilfælde.

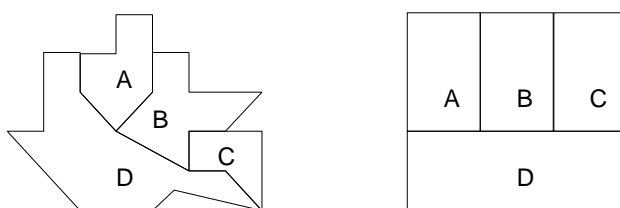
2.3 TOPOLOGI

Topologi er det begreb, der adskiller CAD³ og GIS. Et CAD-system kan, på samme måde som et GIS, håndtere tegninger og indeholde information knyttet til de enkelte elementer i disse tegninger. Forskellen mellem CAD og GIS ligger i, at et GIS har en "erkendelse" af sammenhængen mellem de forskellige elementer i tegningerne. Det er denne "erkendelse", i form af topologien, der muliggør en lang række af de funktionaliteter der gør GIS anvendeligt set i relation til trafikplanlægningen.

Inden man begynder på en beskrivelse af topologien er der en række definitioner, der er nødvendige at få på plads. Når man ønsker at modellere i et GIS, så vælger man at opbygge den geografiske virkelighed vha. en række *entiteter*. En entitet er en vilkårlig størrelse, der beskriver et vilkårlig fænomen i virkeligheden (den fysiske), som ikke kan opdeles i fænomener af samme slags. F.eks. er By en entitet, mens fænomenet (objektet) Aalborg ikke er en entitet, da denne blot er en af mange, i den sammenhæng, ens objekter. Når man ikke ønsker at skelne mellem entiteter og objekter kan man bruge ordet *feature*. På dansk bruges i visse tilfælde betegnelsen *emne* i stedet for feature [Kaae Petersen, J. (1992)].

Topologi er en definition af entiteternes indbyrdes forhold. Topologi beskriver endvidere de indbyrdes sammenhænge (primær naboskab), der er fysisk og/eller logisk tilstede mellem objekterne [Kaae Petersen, J. (1992)]. Det er værd at lægge mærke til, at topologien ikke omfatter objekternes geografiske placering, men udelukkende er relateret til objekternes indbyrdes relationer og placeringer. Det er klart, at den geografiske placering er knyttet til det enkelte objekt men det indgår altså ikke som en del af topologien. Dette forhold er illustreret på Figur 3.

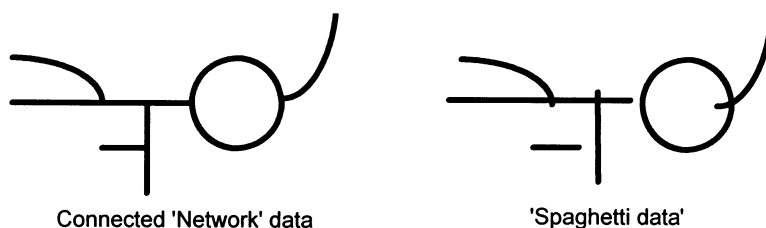
Figur 3. Disse to figurer er topologisk identiske, selv om de er geografisk forskellige. A ligger op til B og D, og B ligger op til A, C og D osv. Eksemplet vil uden videre kunne overføres til linietopologi [Rehfeld, C. (1994)].



Det er vigtigt at man ikke forveksler de 2 objekttyper der er knyttet til henholdsvis begreberne topologi og kartografi. I et kartografisk system (som CAD), anvender man primært objekter med metriske egenskaber, dvs. objekter hvor formen og størrelsen er de vigtigste parametre, men hvor man ikke nødvendigvis er klar over sammenhængen mellem de enkelte objekter. Meget betegnende, kaldes kortdata af denne slags i GIS terminologien for spaghettidata, som Figur 4 illustrer.

³ Computer Aided Drawing.

Figur 4. Eksempel på et topologisk sammenhængende netværk og spaghetti data [Rehfeld, C. (1995)].



I et topologisk opbygget system (som GIS) anvendes dels en objekttype, der indholder såvel metriske som topologiske egenskaber, og dels en objekttype der udelukkende indeholder topologiske egenskaber. Objekttypen, der udelukkende indeholder topologiske egenskaber, som f.eks. naboskab, kan anvendes til visse former for analyser og modellering, men der er selvsagt ingen mulighed for at visualisere disse objekter grafisk⁴.

En vigtig egenskab ved de geografiske informationssystemer er evnen til at kunne håndtere topologien mellem de forskellige former for geografiske objekter. Da disse geografiske objekter kan antage vilkårlige former og størrelser er beskrivelsen af objekterne i de geografiske informationssystemer baseret på geometriske primitiver. Man skelner mellem fire geometriske primitiver [Kaae Petersen, J. (1992)]:

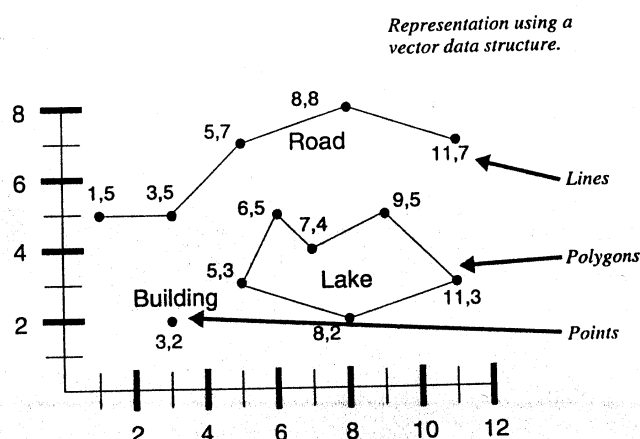
- Et *punkt* repræsenterer et 0-dimensionalt objekt, dvs. et objekt der kan antages at være punktformet eller et objekt der kan udtrykkes ved et punkt f.eks. en lysmast, et vejskilt eller en signalstander. Det kan dog også være et objekt af en vis fysisk størrelse, som f.eks. et vejkryds, som man i den geografiske virkelighed vælger at udtrykke punktformet.
- En *linie* repræsenterer et 1-dimensionalt objekt. En linie består af en mængde af punkter, der udover at fastlægge start og slutpunkt er bestemmende for liniens form. Punkter der udelukkende beskriver liniens form benævnes normalt *shape points*. En linie har altid en længde.
- En *flade* repræsenterer et 2-dimensionalt objekt. Dette objekt er kendetegnet ved at have et areal, afgrænset af en eller flere lukkede polygoner. Som tidligere nævnt arbejder langt de fleste geografiske informationssystemer i 2-D og fladen repræsenterer således den højeste dimension.
- Et *volumen* repræsenterer et 3-dimensionalt objekt, f.eks. en rummelig mængde, der begrænses af en eller flere flader i rummet. Et volumen er kendetegnet ved et rumfang, et overflade areal og evt. en densitet. Som tidligere nævnt er dog de færreste geografiske informationssystemer der kan arbejde i "ægte" 3-D.

Ved at kombinere disse geometriske primitiver kan man såvel beskrive objekternes metriske som topologiske egenskaber. Hvilke af de geometriske egenskaber, der anvendes, er afhængig af hvor mange dimensioner det geografiske informationssystem arbejder i.

Figur 5 viser, hvordan 3 geometriske objekter (en bygning, en vej og en sø) kan beskrives som henholdsvis punkter, linier og flader.

⁴ Et eksempel på et sådan objekt er en TURNTABLE der udelukkende indeholder topologiske egenskaber. Dette objekt vil blive præsenteret i afsnit 3.

Figur 5. Klassifikation af geografiske datatyper ud fra de 3 geometriske primitiver: punkter, linier og polygoner [ESRI (1994)].



I GIS er det muligt at knytte informationer (eller attributter) til hver af de typer af geometriske primitiver. Denne sammenknytning af informationer til geografiske objekter er helt unikke for de geografiske informations systemer og informationen benævnes som *geografisk information* (eng. spatial information).

I det følgende afsnit beskrives hvordan den "fysiske virkelighed" omdannes til "geografisk virkelighed" gennem datamodellering.

2.4 DATAMODELLERING

Datamodelleringen er en vigtig del af et geografisk informations system og derfor ofte integreret i selve systemet. Dette afsnit har til formål at introducere brugen af datamodellering i de geografiske informationssystemer, samt at fastlægge en række definitioner og termer omkring DataBase Management Systems (DBMS). En række GIS som f.eks. ARC/INFO er bygget op omkring en relationel database, og da valget af database er meget styrende for funktionaliteten i et GIS indgår DBMS som en væsentlig del af datamodelleringen.

Man ser ofte de to begreber data og information brugt vilkårlig eller som synonyme for hinanden, men i forbindelse med geografiske informationssystemer er der en klar forskel mellem de to begreber. Data er pr. definition "rå", hvilket vil sige, at data kan opfattes som en lang liste af oplysninger, der ikke er behandlet på nogen måde og som ikke nødvendigvis kan bruges direkte til beskrivelse af de forhold man ønsker at undersøge. Dette kunne f.eks. være kommaseparerede filer fra Bygge- og BoligRegistret (BBR) eller strækningsoplysninger fra Vejman [Vejdirektoratet, (1986)]. I modsætning hertil står information, som data der er behandlet ved en datamodellering, således at de enkelte oplysninger er gjort tilgængelige og brugbare i forhold til den opgave som det geografisk informationssystem skal bruges til at løse. Forskellen mellem de to begreber data og information er temmelig vigtig i forbindelse med GIS, idet det ikke er unormalt, at 70% af tiden i forbindelse med et projekt bruges på at indhente og omdanne data til information [Cassettari, S. (1993)].

Datamodelleringen dækker per definition over en transformering af de forhold man ønsker at undersøge i den fysiske virkelighed over i den geografiske virkelighed. Transformeringen skal helst ske på en sådan måde, at der opstår mindst mulige begrænsninger i den geografiske virkelighed set i forhold til de analyser af den fysiske virkelighed, som

man ønsker at udfører. Det er derfor vigtigt, at datastrukturen er opbygget, så den ligger mindst mulig begrænsning på de tilsigtede anvendelser og kræver mindst mulig indsigt og faglig viden af brugeren. Man må ikke forveksle datamodelleringen med databehandlingen, hvor datamodellering dækker anvendelsen af de tilgængelige informationer, så er databehandlingen udtryk for de transformationer man udfører for at omdanne data til information.

Hovedformålet ved datamodelleringen kan således defineres til [Kaae Petersen, J. (1992)]:

- At identificere entiteter og beskrive deres karakteristiske egenskaber, gennem valg af objektklasser med tilknyttede attributter som er relevant for de anvendelser modellerne er tilmålt. Herunder hører definition af mindste enheder, der er konsistente imellem forskellige registre og det digitale kort.
- At identificere de relationer mellem objekterne, der er relevante at registrere.
- At beskrive de regler, der sikre en korrekt og meningsfuld håndtering af objekterne og deres data.

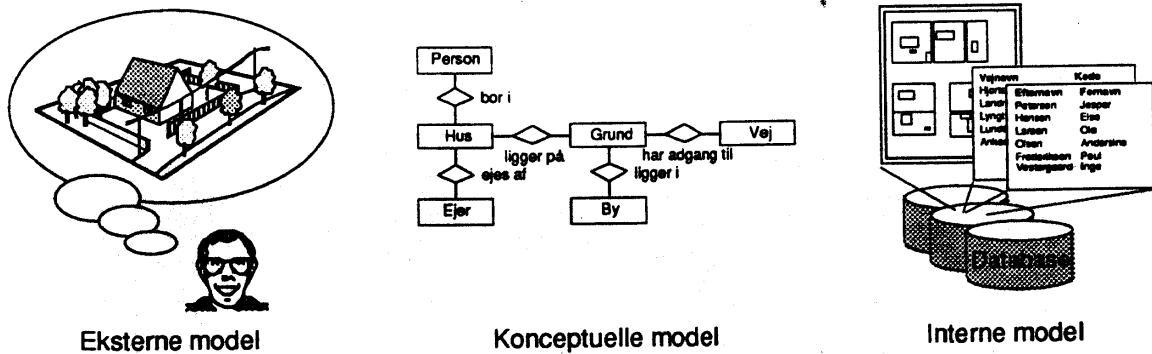
Datamodellerne har således til formål at fastlægge den overordnede struktur i det geografiske informationssystem i forhold til hvilke informationer systemet indeholder og hvor de er placeret.

Af hensyn til overskueligheden af datamodelleringen arbejdes normalt med 3 abstraktionsniveauer [Kaae Petersen, J. (1992)].

- *Den eksterne model* beskriver hvordan brugeren opfatter virkeligheden. Modellen udarbejdes altid uden at tage praktiske hensyn til f.eks. lagringsmuligheder eller svarhastigheder.
- *Den konceptuelle model* beskriver sammenhængen mellem den eksterne- og den interne model. Beskrivelsen omfatter hele den logiske struktur af databasen, uden dog at omfatte en funktionel optimering. Den konceptuelle model er på den anden side afhængig af den valgte datamodel.
- *Den interne model* beskriver hvordan data rent fysisk er lagret i det geografiske informationssystems database, og hvordan de hentes fra de forskellige lagringsmedier. Den interne model er i meget høj grad maskin- og systemafhængigt.

De 3 abstraktionsmodeller kan illustres som vist på nedenstående figur.

Figur 6. Datamodellering udføres på tre abstraktionsniveauer, der i trin omsætter brugerens relative uformelle opfattelse af virkeligheden til en stedse mere abstrakt og databasespecifik beskrivelse [Kaae Petersen, J. (1992)].

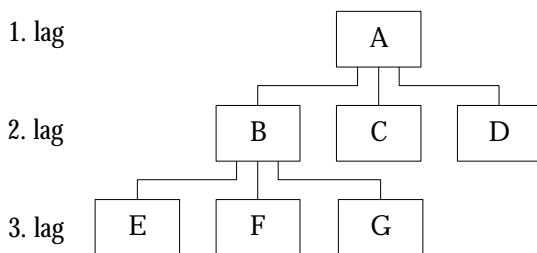


2.4.1 HIERARKISKE-, NET- OG OBJEKTORIENTEREDE DATABASER

Som det er skitseret i det foregående afsnit, har valget af database type direkte indflydelse på såvel det konceptuelle- som det interne abstraktionsniveau. Man skelner normalt mellem 4 hovedtyper af databaser, nemlig hierarkiske-, net-, relationelle- og objektorienterede databaser. Dette afsnit behandler de hierarkiske-, net-, og objektorienterede databaser, mens de relationelle databaser bliver behandlet i afsnit 2.4.2.

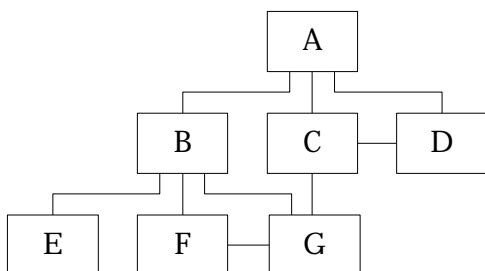
De hierarkiske databaser er kendetegnet ved en pyramidestruktur, hvor oplysninger fra det underliggende lag, kun kan nås fra et overliggende lag. Skematisk kan opbygningen skitseres som på Figur 7. Denne struktur sikre en forholdsvis nem søgning op og ned i databasen, men hvis man ønsker at kombinere oplysninger på tværs af de enkelte lag er operationstiden uforholdsmæssig lang.

Figur 7. Hierarkiske databaser med pyramidestruktur [Figur frit efter: Rehfeld, C. (1994)].



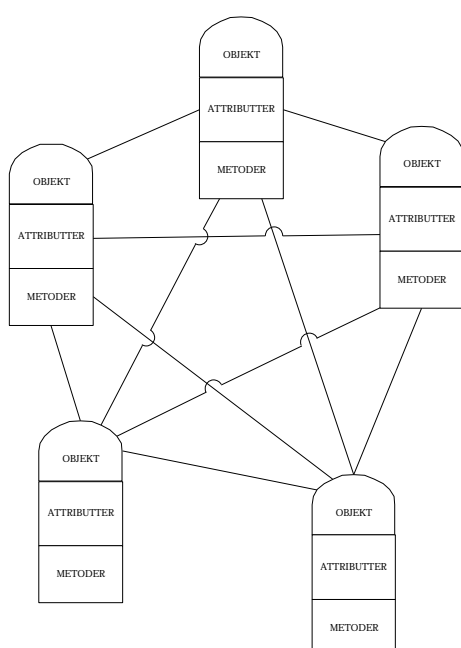
De net-opbyggede databaser har den samme grundstruktur som de pyramideformede databaser, forskellen ligger i muligheden for at søge vandret i de enkelte lag, som skitseret på Figur 8. Det giver en formindskelse i søgetiden, sålænge man ikke ønsker at kombinere oplysninger fra forskellige lag på tværs i databasen.

Figur 8. Netdatabaser med mulighed for vandrette forbindelser [Figur frit efter: Rehfeld, C. (1994)].



Eksempler på brugen af objektorienterede databaser i forbindelse med geografiske informations systemer ligger p.t. ude i fremtiden. Princippet bag såvel objektorienteret programmering som objektorienteret databaser er, kort fortalt, at man ikke bare har data liggende for sig selv, men til de enkelte former for data knytter oplysninger om, hvordan de skal behandles, f.eks. hvilke former for beregninger, der skal udføres på dataene. Grundtanken er så, at såvel data som behandlingsmetoder ligger som et selvstændigt objekt som man så kan knytte sammen med andre objekter. På det seneste er der begyndt at dukke objektorienterede programmeringssprog op inden for enkelte geografiske informations systemer⁵, en udvikling man uden tvivl vil se mere til i fremtiden, men som der ikke skal komme nærmere ind på her. Den objektorienterede databasestruktur kan illustreres som på Figur 9.

Figur 9. Objektorienteret database er en struktur af objekter bestående af attributter og metoder, med forbindelse imellem de enkelte objekter [Figur frit efter: Rehfeld, C. (1994)].

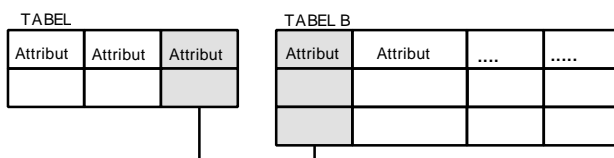


2.4.2 RELATIONELLE DATABASER

Strukturen i den relationelle database er grundlæggende forskellig fra de hierarkiske- og netdatabaserne. I stedet for en træstruktur baseres opbevaringen af data på relationer. Det vil sige, at databasen groft sagt baseres på en række tabeller med mindst én gennemgående attribut. Disse tabeller knyttes derved sammen vha. en række attributter. Derved opnår man en meget fleksibel struktur, hvor det er muligt at skræddersy sin database til de formål man skal bruge den til. Det er typisk denne form for databaser der bruges i forbindelse med de geografiske informations systemer, da den store fleksibilitet gør dem meget anvendelige til et utal af forskellige formål.

⁵ I dette tilfælde hentydes specifikt til det objektorienteret sprog *Avenue* der leveres fra og med version 2.1 af ArcView fra ESRI.

Figur 10. Relational database med en tabelstruktur, der muliggør forbindelse mellem fælles attributter [Rehfeld, C. (1994)].



Det findes forskellige konceptuelle modeller for de relationelle databaser, alle mere eller mindre baseret på Entitet-Relation formalismen [Chen, P.P.-S (1976) og Kaae Petersen, J. (1992)]. Denne formalisme består af de 3 objekttyper entiteter, attributter og relationer, samt en fastlæggelse af den tilhørende grafisk præsentation af disse objekter.

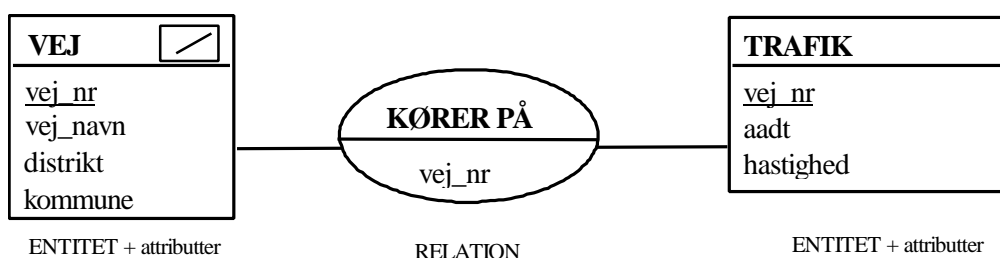
En *entitet* betegner, som tidligere nævnt, ethvert fænomen i virkeligheden dvs. enhver fysisk eller abstrakt genstand eller begivenhed, som ikke yderligere kan opdeles i fænomener af samme slags [Kaae Petersen, J. (1992)]. En entitet er således en abstraktion, på det konceptuelle plan, fra det reelle. Grafisk repræsenteres entiteterne ved et rektangel med entitetens navn. Det er et krav, at entitetens navn, på samme måde som selve entiteten, er entydig.

Betegnelsen *attributter* dækker over egenskaberne ved entiteterne. Man skelner normalt mellem 2 former for attributter: *Identier eller identifikanter* og beskrivende attributter. Identierne identificerer entydigt hver entitet i forhold til alle andre entiteter. Identierne repræsenteres grafisk i entiteten ved en understregning. De beskrivende attributter er karakteriseret ved:

- At de besidder en given værdi
- At navnene på attributterne er tillægsord eller navneord
- At attributternes navne er unikke og at de skrives med små bogstaver i entiteten

Et eksempel på 2 entiteter og deres indbyrdes relation er vist på Figur 11.

Figur 11. Eksempel på en relation imellem geografisk relaterede og ikke geografisk relaterede entiteter [figur frit efter: Kaae Petersen, J. (1992) og EPFL 1 (1994)].



Relationerne beskriver de identificerbare sammenhænge mellem en eller flere entiteter. Antallet af mulige forbindelser imellem de enkelte entiteter beskrives ved dens *kardinaliteter*. Relationer er karakteriseret ved:

- Den attribut der anvendes til at forbinde entiteterne (med lille under stregen)
- At navnene er navneord eller tillægsord (med stort)

Der findes 5 typer af kardinaliteter, hvor de 3 oftest anvendte er én-til-én, én-til-mange eller mange-til-mange. Kardinaliteten angives med udtrykket (Min,Max), hvor Min er det

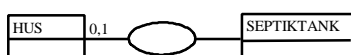
mindste antal kardinaliteter og Max tilsvarende er det maksimale. På Figur 12 er vist eksempler på de 5 typer af kardinaliteter.

Figur 12. Eksempler på de 5 typer af kardinaliteter [figur frit efter: Rehfeld, C. (1994) og EPFL 1 (1994)].

- 1) Simpel forbindelse. Én og kun én forbindelse.



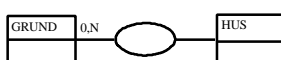
- 2) Forbindelse med krav. Én eller ingen forbindelse.



- 3) Multipel forbindelse. Én men der kan være flere forbindelser.



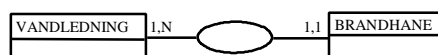
- 4) Multipel forbindelse med krav. Flere forbindelser mulige men der behøver ikke være nogen.



- 5) Speciel forbindelse. Specifikke maksimale og minimale forbindelser andre end 1.



Der er naturligvis kardinaliteter for forbindelserne i begge retninger. Punkterne 1) og 3) er den andens spejlvendte og de bør således skrives;



Der kan ud over den her præsenterede type relation, "en til en", forekomme en række kombinationer af de forskellige relationer som er mere eller mindre spidsfindige.

2.4.3 GEOGRAFISKE ANALYSER

Ud over de rent administrative kvalifikationer så er et geografisk informationssystem også kendetegnet ved at besidde en række analytiske funktioner. Disse funktioner kan inddeles i 3 kategorier;

- Behandling og analyse af geometrisk data

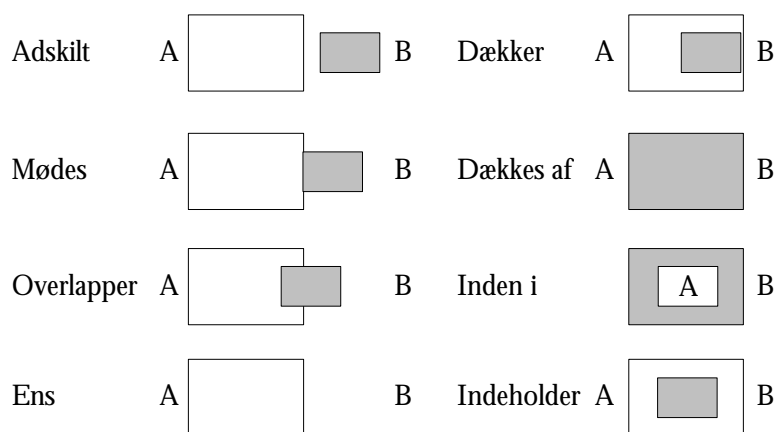
- Behandling og analyse af alfanumerisk data
- Behandling og analyse af kombinationer af geometrisk og alfanumerisk data

De to første dækker over funktioner og metoder til editering af og forespørgsel (SQL) på data, hvilket ligger uden for sigtet af dette afsnit. De nye muligheder for analyse, der opnås i forbindelse med anvendelsen af GIS ligger i den kombinerede forespørgsel på data. De kombinerede metoder til data analyse kan inddeles i fire kategorier;

- Analyse af primært naboskab (Neighbouring operations)
- Polygon overlejring (polygon overlay)
- Analyse af sammenhæng (connectivity analysis)
- Tematisk analyse

Geografiske analyser er en fælles betegnelse for analyser af primært naboskab og polygon overlejring. I det todimensionale topologiske rum er findes der 8 forskellige topologiske relationer mellem to objekter [Kaae Petersen, J. (1992)]. De 8 topologiske relationer bestemmes alle ved analyse af det primære naboskab. På Figur 13 er disse 8 relationer eksemplificeret ved en illustration af de topologiske relationer mellem 2 flader.

Figur 13. De 8 forskellige topologiske relationer mellem to flader [Kaae Petersen, J. (1992)]



Det er dog udelukkende ved de sidste seks topologiske relationer at det er muligt at lave overlejnings analyser. Overlejringen kommer enten til udtryk som rumlige forespørgsler (queries), der udvælger de data, der opfylder kriteriet eller ved dannelse af nye polygoner. I dette sidste tilfælde dannes der knuder de steder, hvor polygonernes sider skærer hinanden og nye polygoner opstår. Denne type analyser giver mulighed for at undersøge, hvilke områder der falder indenfor en given rumlig udbredelse, det være sig spredning af støj eller virksomheders oplandsanalyser.

For linie-baseret data er det muligt at lave søgninger igennem netværk forudsat, at der er sammenhæng imellem de enkelte strækninger i nettet. Strækningerne forbindes med knuder, som i visse GIS kan indeholde information om svingforholdene i knuden. I sådanne topologisk sammenhængene net er det muligt at søge korteste vej og lave rute optimering, ud fra stop i et givet geografisk område.

2.4.4 ANALYSE VÆRKTØJER

Der findes forskellige værktøjer, der kommer som en integreret del af mange GIS. De to vigtigste vil oversigtsmæssigt blive præsenteret her. Det drejer sig om buffere og dynamisk segmentering.

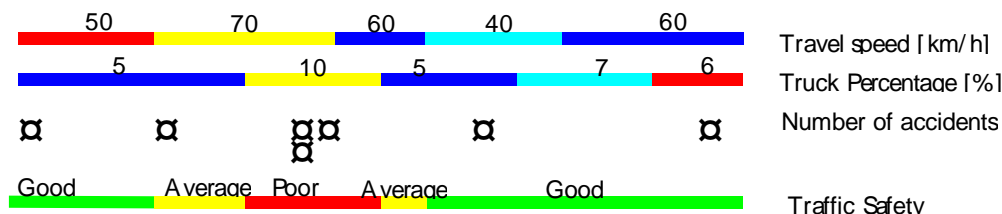
Buffere er polygoner, der kan placeres uden om alle geometriske primitiver. Buffere har en fast afstand til alle elementer af det primitiv der dannes buffer omkring. Buffere anvendes ofte som værktøj i forbindelse med oplandsanalyser eller som 'bælter' omkring veje eller fabrikker.

Figur 14. Eksempler på buffere omkring et punkt, linie og polygon. Bufferafstanden er d [Rehfeld, C. (1994)]



Forhold langs vejstykker kan ændre sig løbende. Det være sig belægningen, uheld, fartbegrænsningen etc. For ikke at måtte bryde hvert vejstykke op i to selvstændige strækninger hver gang data ændrer sig, kan man anvende dynamisk segmentering. Herved stadsfæstes de steder hvor forholdene ændrer sig over vejens forløb, ud fra en stationering uden at vejstrækningen påvirkes.

Figur 15. Dynamisk segmentering med diskret information. Eksemplet viser muligheden for at analysere for en mulig korrelation imellem trafikikkerhed, hastighed og/eller lastbil procenten på den givne strækning [Rehfeld, C. (1995)].



En anden anvendelse af dynamisk segmentering er "rute systemer" hvor flere vejstykker kan samles til en rute, f.eks. en busrute.

2.5 DATAABSTRAKTION

Dataabstraktion betegner metoder hvormed man kan beskrive egenskaberne ved ét objekt gennem dets egenskaber og relationer til andre objekter [Kaae Petersen, J. (1992)]. Det lader sig bedst illustre ved et eksempel.

Det antages, at der ønskes en beskrivelse af et objekt *Vej*. Objektet *Vej* har relationer til de to objekter *Belægning* og *Trafik*. Ved en dataabstraktion tillægges egenskaberne ved objekterne *Belægning* og *Trafik* til objektet *Vej*, således at *Vej* kan beskrives ved f.eks. en belægnings type og en trafikmængde, oplysninger som er indeholdt i de to objekter *Belægning* og *Trafik*.

Fordelen ved brugen af dataabstraktion skulle gerne være, at det fremmer brugerens logiske forståelse for entiteternes betydning og funktion, hvilket burde gøre det lettere at

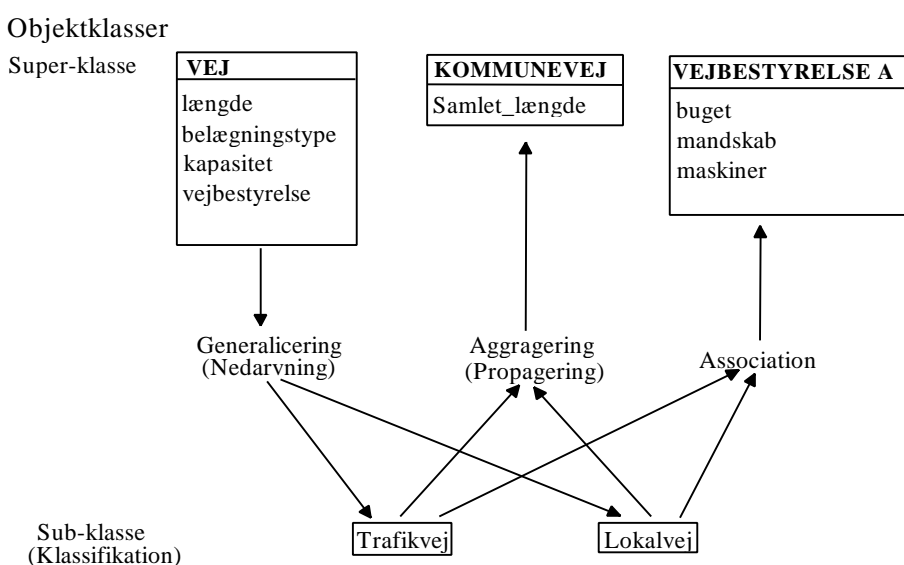
håndtere geografisk relaterede data, fordi man dermed kan operere med objekter, der er i overensstemmelse med virkelighedens entiteter. Der skulle dermed være mulighed for, at skabe større overensstemmelse mellem den eksterne-, den konceptuelle- og den interne model.

Dataabstraktion gør det muligt, at beskrive komplekse objekter ud fra simple objekter (eller andre komplekse objekter) og gør dermed rede for, hvordan objekternes egenskabsdata kan aggregeres ud fra egenskabsdata af andre objekter, eller hvordan klasseegenskaber arves fra beslægtede objektklasser. Man opererer grundlæggende med 4 forskellige abstraktioner:

- Klassifikation
- Generalisering
- Association
- Aggregering

Matematisk har abstraktionerne rod i mængdelæren, idet hver abstraktion er en anvisning af, hvordan en mængde af objekter kan dannes med de for den anvendte abstraktions karakteristiske egenskaber. Figur 16 forsøger at sætte de 4 begreber i relation til trafikplanlægningen og bruges i den efterfølgende beskrivelse til at eksemplificere begreberne.

Figur 16. Angivelse af de 4 grundlæggende abstraktioner og deres indbyrdes afhængighed.



Klassifikation

Klassifikation består i at gruppere entiteterne i et antal objektklasser efter fælles karakteristiske egenskaber. Til hvert objekt i objektklasserne svare en entitet i virkeligheden. En klassifikation betegner en *forekomst_af* relation mellem tilsvarende objekter, fordi disse deler væsentlige fælles egenskaber [Kaae Petersen, J. (1992)]. Man kan f.eks. klassificere veje efter deres trafikale funktion i de to klasser "Trafikveje" og "Lokalveje", svarende til, at der i det geografiske informationssystem er en *forekomst_af* "Trafikveje" og "Lokalveje".

Generalisering

Generalisering grupperer en mængde af objektklasser (også kaldet subklasser) med visse karakteristiske sammenfaldende egenskaber i en fælles, mere overordnet klasse, betegnet en superklasse. Generalisering benyttes på denne måde til at samle og fremhæve karakteristiske egenskaber ved de forskellige objektklasser i en hierarkisk struktur. Denne generalisering af en subklasse til en superklasse beskrives med en *er_en* relation, f.eks. "Lokalvej" *er_en* "Vej". Idéen bag generaliseringen er ikke, som man umiddelbart kunne tro, at subklasserne skal bidrage med information til superklasserne. Formålet med generaliseringen er, at de karakteristiske egenskaber ved objektklasserne i hierarkiet defineres en gang for alle ét sted i modellen, og efterfølgende gennem nedarvning overføres fra superklassen til subklassen. Princippet med nedarvning er vigtig set i relation til konsistensen af databasen, idet den reducerer redundansen⁶ i beskrivelsen af objektklasserne. Definitioner udfærdiges på et passende niveau i hierarkiet, hvorefter de nedarves til subklasserne. Generaliseringen belyses bedst med et eksempel, de to klasser "Trafikveje" og "Lokalveje" har en række fælles egenskaber f.eks. i form af attributterne længde, belægningstype, kapacitet og vejbestyrelse. Disse attributter kunne derfor med fordel knyttes til superklassen "Vej" og derigennem nedarves til subklasserne. Det svare til, at man lager fælles information så "højt" i data hierarkiet som muligt og gennem nedarvning overføre informationerne til subklasserne. Den afgørende forskel mellem klassifikation og generalisering er altså, at klassifikation omfatter enkelte forekomster af objekter, mens generalisering omfatter objektklasser.

Association

Association er en abstraktion, der i sig selv omfatter relationen mellem en mængde beslægtede objekter som et højere ordens abstrakt objekt. Dette højere ordnet objekt beskriver en objekt mængde, hvor det er mængden der er det interessante og som har sine egne karakteristiske egenskaber. Associationen betegnes med en *medlem_af* relation for mængden af de i associationen deltagende objekter. Association kan f.eks. udmynte sig i, at en gruppe veje fra objektklassen "Vej" kan være relateret gennem et fællesskab, f.eks. fordi de ligger inden for den samme vejbestyrelse. Vejbestyrelsen vil i dette tilfælde være det overordnede og interessante objekt, hvis objektbeskrivelse kan indeholde attributter som Budget, Mandskab, Maskiner etc.

Aggregering

Aggregering benyttes til modellering af komplekse objekter, hvor det komplekse objekt er en *komposit*, opbygget af en mængde *komponent* objekter. Formålet med aggregering er, at kunne modellere sammensatte objekter, det vil sige objekter, hvis egenskaber er bestemt eller afhænger af flere evt. forskellige objekt typer. De indgående objekter betegnes *komponenter*, og deres tilknytning til det sammensatte objekt udtrykkes ved en *del_af* relation mellem komponent objekter og komposit objekt. Den omvendte relation fra komposit objekt til komponent objekter beskrives ved *består_af*. Efter samme princip som tillod nedarvning i forbindelse med generalisering, så giver aggregeringen mulighed for at opbygge objekter af andre objekter og derved lade egenskaber fra komponent objekter propagere gennem objekt hierarkiet til komposit objekter. Som eksempel kan bruges

⁶ Redundans er en lidt ønsket effekt, der betyder at man opbevare den samme oplysning to eller flere steder. Det kan selvsagt meget nemt give en række problemer når man ændre eller opdatere data.

objektklassen "Grusvej", hvor det er nødvendigt at benytte aggregering for at samle den information som man ønsker ud fra relevante oplysninger om vejnettet. En attribut i kompositobjektet kunne i dette tilfælde være *samlet_længde*, som findes som summen af længden af de grusveje der hører til vejnettet. I den fysiske planlægning bruger man meget ofte begrebet i forbindelse med fladedata. Det klassiske eksempel i den sammenhæng er, at opbygge en zoneopdeling af en by til brug for trafikmodeller, ved aggregering af oplysninger fra et digitalt matrikelkort.

2.5.1 DATAVALIDITET

Kontrol af datavaliditeten indgår (eller burde normalt gøre det) i et geografisk informations system som en del af de analytiske funktioner, men netop på dette område slår "Værktøjskasse" princippet meget kraftigt igennem. I de forskellige geografiske informationssystemer findes der normalt en lang række af muligheder for at kontrollere f.eks. sammenhængen i et netværk eller for at visualisere afvigelser. Oftest er det dog sådan, at de kontroller man ønsker at foretage er så specialiserede, at man skal gennem lidt af et puslespil for at få lavet lige præcis den validitetskontrol man er interesseret i.

Da kontrol af datavaliditeten ligger som en væsentlig del af omdannelsen af data til information går en stor del af tiden i GIS projekter ftest med netop at "snedkerere" disse metoder til validitetskontrol.

2.5.2 METADATA

I takt med at tilgangen til data bliver nemmere (eller burde blive det) og man samtidig bruger data fra flere og flere forskellige datakilder, vokser behovet for til hver en tid at kunne overskue dels oprindelsen af de forskellige data og dels at holde styr på hvilke data der er ændrede f.eks. ved beregning. Disse oplysninger om de enkelte datas "livsforløb" kaldes under et for *Metadata* og er således et udtryk for datatypen, datakilden og datakvaliteten. Især i forbindelse med trafikmodeller er det vigtigt hele tiden at have overblik over hvilken generation af oplysninger man arbejder med. Man kan opstille en liste med krav til et effektivt metadata system [Cassettari, S. (1993)].

- Kilden for den geografiske information
- Nøjagtigheden, kvaliteten og den øjeblikkelige status for kilderne
- Forklaringer om hvordan kildedata er blevet brugt til at danne det aktuelle data sæt
- Definition af attributterne og hvilke regler de er fastlagt ud fra
- Regler og procedure der er anvendt i forbindelse med datafangst
- Resultater for geometriske og topologiske test af nøjagtigheden
- Typer af analyse procedurer som er anvendt på de oprindelige data og begrænsningerne og kvaliteten af resultatet
- Regler for visning og kartografisk præsentation af data

Der findes forskellige metoder til implementering af metadata i forbindelse med GIS, men det er meget komplekst at få det geografiske informationssystem til at styre metadata på en konsistent måde. Derfor ender det som oftest med, at man selv må håndtere sit eget metadata system for at sikre en konsistens håndtering af data og datavarianter.

2.6 BRUGEN AF GIS I RELATION TIL TRAFIKPLANLÆGNINGEN

Med udgangspunkt i anskuelsen af GIS som en værktøjskasse indeholdende en række værktøjer, kan langt de fleste geografiske informationssystemer anvendes inden for trafikplanlægningen.

Mængden og funktionerne af værktøjerne varierer dog meget afhængigt af de enkelte systemer, men fælles for dem alle er muligheden for at håndtere topologi. Det vil sige, at langt de fleste GIS kommer med en række værktøjer til at kontrollere f.eks. sammenhænge i netværk og værktøjer til at udføre konsistente ændringer i nettet. Set i relation til trafikplanlægningen er der især tre forhold ved GIS der har særlig interesse.

- Visualisering
- Håndtering af topologi
- Analytiske funktioner

Hver af disse forhold vil blive behandlet på oversigtsniveau i de følgende afsnit.

2.6.1 VISUALISERING

Visualiseringen i et GIS adskiller sig ikke meget fra den, der kendes fra CAD. Det geografiske informationssystem er i stand til at præsentere data i en geografisk reference, og da GIS er et vigtigt værktøj i kartografien, er de fleste geografiske informationssystemer forholdsvis stærke til visualisering. I forbindelse med trafiknetværk i GIS anvendes visualiseringen f.eks. i forbindelse med valideringen af attributter eller til en grafisk præsentation af resultaterne af de undersøgelser, der er foretaget. I mange tilfælde kan visualiseringen også anvendes til at fejl søge resultater af modelberegninger.

2.6.2 HÅNDTERING AF TOPOLOGI

Muligheden for at foretage såvel netværks- som rumlige analyser afhænger blandt andet af den måde, hvorpå det geografiske informationssystem håndterer topologi⁷. For trafikplanlæggeren er det særligt interessant, at der ofte er forskel på, hvad netværkstopologien i de forskellige kommercielle GIS præcist omfatter. Nogle systemer har en omfattende netværkstopologi, der f.eks. kan håndtere modellering af svingmodstande i kryds og dynamisk segmentering, mens andre kun kan håndtere stræknings- og knudetopologi.

Især muligheden for at håndtere svingmodstande i kryds er en vigtig topologisk udvidelse. I en række GIS (bl.a. ARC/INFO) er håndteringen af svingmodstande en integreret del af topologien. Dette har især stor betydning ved modellering af multimodale netværk (se kapitel 3).

2.6.3 ANALYTISKE FUNKTIONER

I en række geografiske informationssystemer findes desuden forskellige funktioner, som er mere eller mindre direkte relaterede til anvendelse i forbindelse med trafiknet f.eks. forskellige algoritmer til at finde korteste vej og automatisk opbygning af afstandsmatricer.

⁷ For en mere udførlig diskussion af GIS og topologi se f.eks. [Maguire, D.J., Goodchild, M.F., Rhind, D.W. (1991), Kaae Petersen, J. (1992) eller Kronbak, J. & Rehfeld, C. (1996)].

Et geografisk informationssystem som TransCAD⁸ er udviklet specielt til trafikplanlægning og indeholder derfor færdige og direkte brugbare algoritmer til trafikmodeller, mens et GIS som ARC/INFO har et væsentlig breder sigte og derfor måske nok indeholder grundlaget for at kunne anvendes til trafikmodeller, men ikke på samme direkte måde som TransCAD.

Med hensyn til rumlige analyser ligger potentialet ved anvendelse af GIS i muligheden for at kombinere trafiknettet med andre geografisk relaterede oplysninger. Et velkendt eksempel på dette er støjmodelleringen, hvor det er muligt at generere støjkort på baggrund af et trafiknet, et ejendomskort (evt. matrikelkort) og nogle modeludtryk for udbredelse af støj⁹. Ved brug af de rumlige analyser er det således muligt at lade trafikmodelleringen indgå i et større modelkompleks, der dermed skulle give et bedre vurderingsgrundlag for beslutninger. En række af de analytiske muligheder vil eksemplificeres i kapitel 4 navnlig i afsnit 4.2.

2.7 KONKLUSION OG OPSUMMERING

En del af formålet med dette afsnit har været, at give en forståelse for omfanget af den definition på et geografisk informationssystem der er anvendt i denne afhandling.

Man kan groft sige, at det eksisterer to niveauer af forståelse for GIS: Brugere og Udviklere.

Brugeren vil i langt de fleste tilfælde se GIS som et program på line med f.eks. tekstbehandling og anvende dette til at løse en række konkrete opgaver, oftest af mere administrativ karakter. Langt hovedparten af brugerne har begrænset eller ingen kendskab til det omfattende begrebsapparat der ligger til grund for de geografiske informationssystemer og som er skitseret i dette afsnit.

Udvikleren derimod har et nøje kendskab til systemets virkemåde og teoretiske baggrund og vil anskue det geografiske informationssystem mere som et programmeringssprog end et færdigt program.

En af de største barrierer for anvendelsen af GIS inden for forskellige fagområder er, at det ikke er nok med faglig indsigt, man er også forståelsesmæssig nødt til at befinde sig i udviklergruppen. Det er klart, at grænsen mellem grupperne er flydende, men det er vigtigt at forstå, at forskellen i viden er meget stor. Det at befinde sig i udviklergruppen kræver indgående kendskab til såvel begreber som metoder og ikke mindst til præcist det geografiske informationssystem man nu anvender. Problemet er nemlig, at hvis man ikke fra starten kan overskue konsekvenserne af de valg man foretager i datamodelleringen kan man risikere, at man begrænser anvendelsesmulighederne så meget, at man ikke er i stand til at gennemføre de undersøgelser man er interesseret i.

Det er altså vigtigt at gøre sig klart, at de valg man træffer i forbindelse med datamodelleringen har konsekvenser for den videre anvendelse og mulighederne for modellering i det geografiske informationssystem.

Netop denne problemstilling vil blive eksemplificeret i det efterfølgende kapitel 3, omhandlende modelleringen af multimodale netværk i GIS.

⁸ På trods af det noget misvisende navn er det faktisk et geografisk informationssystem.

⁹ Se evt. [Rehfeld, C. (1995)]

3. MODELLERING AF MULTIMODALE NETVÆRK I GIS

Med et multimodalt netværk forstås et netværk, hvor det er muligt at modellere rejser, der kombinerer forskellige transportmidler eller modes. I forbindelse med opbygningen af et multimodalt net er det afgørende, hvordan opbygningen af det individuelle og det kollektive net er formuleret, ligesom det er vigtigt at overveje mulighederne for at koble de to net, så de multimodale egenskaber opnås [Kronbak, J. & Riff Brems, C (1996)].

I GIS terminologien anvendes betegnelserne punkter og linier om de geometriske primitiver der anvendes til datamodelleringen (se afsnit 2.3 og 2.4). Imidlertid anvender man inden for trafikplanlægningen betegnelsen linie for en kollektiv trafiklinie. For at undgå misforståelser vil betegnelsen line blive brugt for en kollektiv trafikline, strækning for det der i GIS sammenhæng benævnes en linie og knude for det, der i GIS sammenhæng benævnes et punkt.

Dette kapitel starter med en kortfattet introduktion til modelleringen af det individuelle, det kollektive og det multimodale netværk, således som de hidtil er blevet modelleret i forbindelse med trafikmodeller og herefter introduceres i afsnit 3.2 et nyt princip for modellering af multimodale netværk i GIS.

3.1 TRAFIKNET I TRADITIONELLE TRAFIKMODELLER

Dette afsnit indeholder en kort gennemgang af trafiknet, som kan ses anvendt i allerede eksisterende trafikmodeller. For at lette forståelsen af enkeltdelene af et multimodalt trafiknet gennemgås først det individuelle og det kollektive net hver for sig, inden modelleringen af selve det multimodale trafiknet behandles.

3.1.1 DET INDIVIDUELLE TRAFIKNET

Når trafiknettet betegnes det individuelle trafiknet og ikke blot vejnettet, er det for at signalere, at der kan inddrages andre individuelle transportmidler end biler i nettet eksempelvis cyklister og fodgængere. Modelleringen af disse transportmidler sker alene ved hjælp af de attributter, der indlægges for hver strækning.

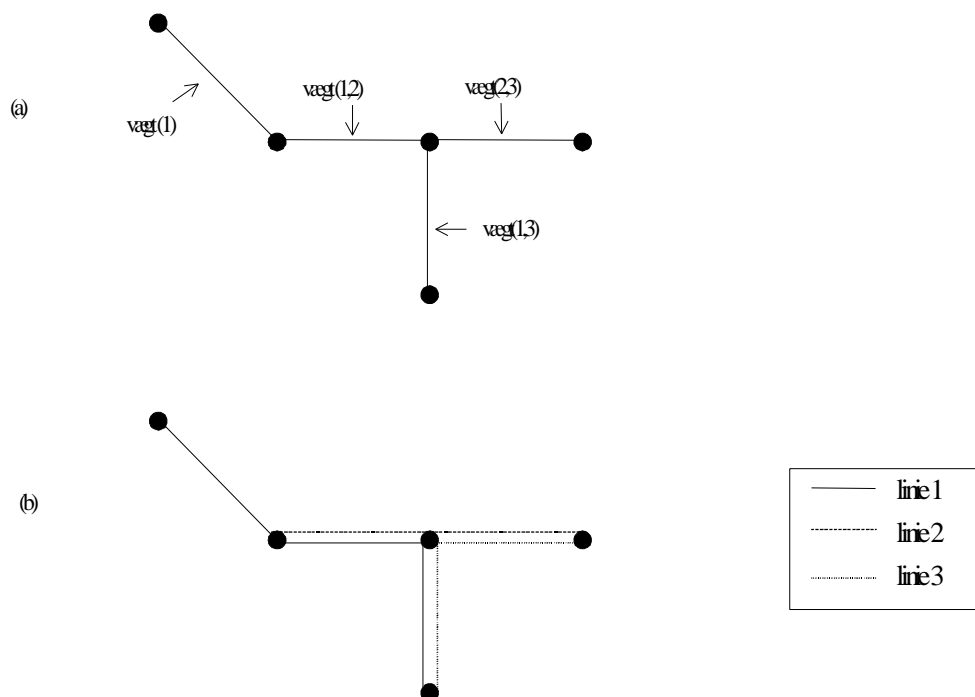
Beskrivelsen af modelleringen af det individuelle trafiknet er relativt simpel, idet modelleringen stemmer overens med formuleringen af den traditionelle netværksteori. Som hovedprincip modelleres kryds som knuder, mens en vej mellem to kryds modelleres som en strækning. I den forbindelse skal man dog gøre sig klart, hvorvidt strækningerne modelleres som to ensrettede strækninger eller som en dobbeltrettet strækning.

3.1.2 DET KOLLEKTIVE TRAFIKNET

Modelleringen af det kollektive trafiknet er straks mere kompliceret, idet trafikken er bundet til faste linieføringer, der, i modsætning til den individuelle trafik, kun betjenes med visse tidsintervaller. Begrænsningen i linieføringen kræver blandt andet, at der åbnes mulighed for at skifte transportmiddel eller blot linie på turen. Disse skift foretages ved stoppesteder eller på stationer der under ét kaldes terminaler. I de fleste kollektive trafiknet modelleres terminaler ved hjælp af knuder og fiktive strækninger. I forhold til det individuelle net arbejdes der således i det kollektive net både på et *strækningsniveau* svarende til det fysiske vej- og banenet og et *linieniveau* svarende til linieføringerne for busser og tog.

Strækningerne i det kollektive net kan følge ét af disse to principper, med hver deres fordele og ulemper. Modellering på stræknings- og linieniveau repræsenterer to forskellige detaljeringens niveauer. Ønskes blot et nogenlunde estimat for trafikstrømmene i det multimodale trafiknet, er det tilstrækkeligt at benytte modelleringen på strækningsniveau, der stiller færre krav til digitalisering og datamængder end modelleringen på linieniveau. Linieniveauet kan til gengæld danne grundlag for et noget mere detaljeret billede af trafikmønsteret. De to former for modellering er skitseret på Figur 17.

Figur 17. Modellering af det kollektive net på (a) strækningsniveau og (b) linieniveau. Vægt (i,j) betyder en vægning af attributterne for linie i og j.



Ved modellering af det kollektive trafiknet på *strækningsniveau* medtages alle baner samt alle veje, der betjenes af busser. Strækningerne i nettet modelleres svarende til det individuelle net. Da en del strækninger betjenes af flere kollektive linier, bliver det ved udregningen af værdierne for attributterne (f.eks. rejsetiden for strækningen) nødvendigt at foretage en sammenvejning af værdierne for de indgående linier for at danne et samlet trafiktilbud for strækningen i nettet. Modellen bygger på en antagelse om, at passagererne er ligeglade med, hvilken linie de benytter, blot den bringer dem fra udgangspunkt til bestemmelsessted. Da der er tale om parallelt kørende linier, bør alle linierne opfylde dette. Det er dog ikke muligt at holde styr på hvilke linier, der benyttes, ligesom det heller ikke er muligt at modellere skift mellem linier på en realistisk måde. Samtidig bør det bemærkes, at den senere fundne rejserute ikke svarer til en eksisterende rute men blot til et estimeret udtryk for en rejse gennem trafiksystemet.

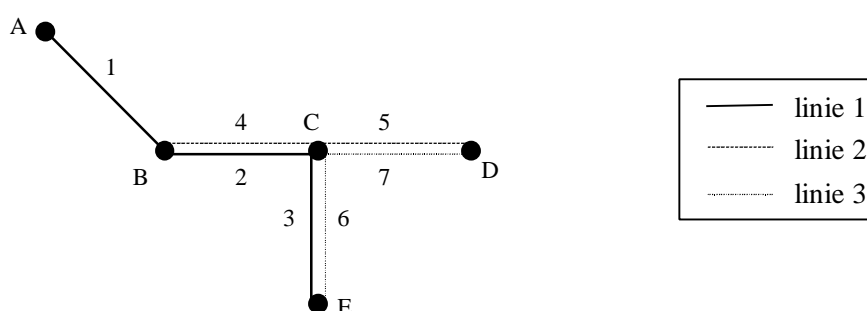
Ved modellering på *linieniveau* repræsenteres hver linie mellem to terminaler som en strækning i netværket. Hvor flere linier løber parallelt vil dette medføre, at strækningen digitaliseres et antal gange svarende til antallet af parallelt kørende linier. Herved opnås, at hver strækning i nettet kun indeholder oplysninger om én linie. Til forskel fra modelleringen på strækningsniveau er det således muligt at holde styr på, hvilke linier passagererne benytter samt hvilke skift, der foretages og placeringen af disse. Deraf følger desuden, at de senere fundne ruter svarer til eksisterende ruter dvs. de kan realiseres.

Ulempen ved denne formulering er først og fremmest, at antallet af digitaliserede strækninger vokser afhængigt af omfanget af parallelt kørende linier i det kollektive trafiknet. Afhængig af det kollektive trafikudbud kan der være tale om en betragtelig stigning i antallet af strækninger, hvilket har konsekvenser for beregningsomfanget.

Modellering af terminaler i det kollektive trafiknet

Princippet bag repræsentation på linieniveau er som nævnt, at hver enkelt linie i det kollektive netværk bliver repræsenteret med selvstændige strækninger i netværket. Figur 18 gengiver eksemplet på repræsentationen på linieniveau fra Figur 17 (b), hvor knuder og strækninger er nummererede.

Figur 18. Eksempel på modellering af det kollektive net ved repræsentation på linieniveau (fra Figur 17).

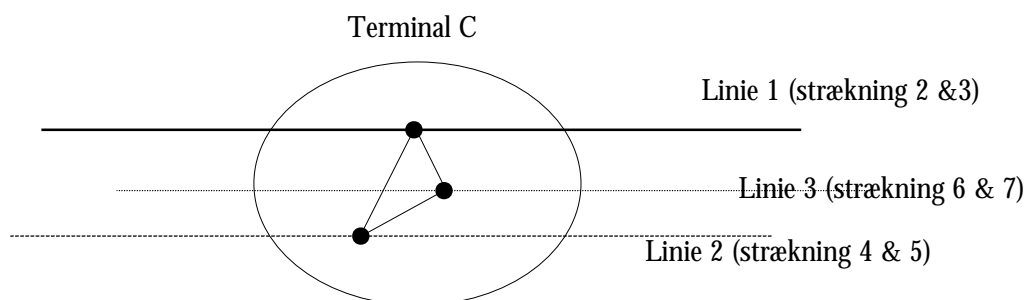


Eksempelet i Figur 18 består af 5 terminaler, A-E, og 7 strækninger, 1-7, fordelt på 3 linier.

I den foreløbige gennemgang af det kollektive trafiknet er betegnelsen terminal flere gange dukket op som en nødvendighed på grund af begrænsningen til linieføring og afgangstidspunkter. Betegnelsen terminal benyttes i talesprog om stedet, hvor skift mellem linier i den kollektive trafik foretages, det vil sige i princippet en knude. Forskellen på en knude som defineret i den sædvanlige netværksteori og en terminal er, at i terminalen opbygges en række relationer mellem de linier, der ender i eller passerer terminalen. Et objekt svarende til den her definerede terminal anvendes ikke i den traditionelle netværksteori.

Terminalen benyttes i forbindelse med modellering af kollektiv trafik til at modellere skift mellem linier, idet der til hver skift i terminalen kan knyttes et modstandstal. Dette modstandstal vil i forbindelse med kollektiv trafik sædvanligvis være et (eventuelt vægtet) udtryk for tidsforbruget ved skiftet.

Der findes forskellig forslag til, hvordan terminalen som netværksobjekt kan modelleres. Et meget brugt forslag er at indlægge en række fiktive (pseudo) knuder og strækninger. Terminal C fra Figur 18 vil i denne modelrepræsentation se ud som vist på Figur 19.

Figur 19. Eksempel på formulering af terminal ved brug af knuder og strækninger ($n=3$).

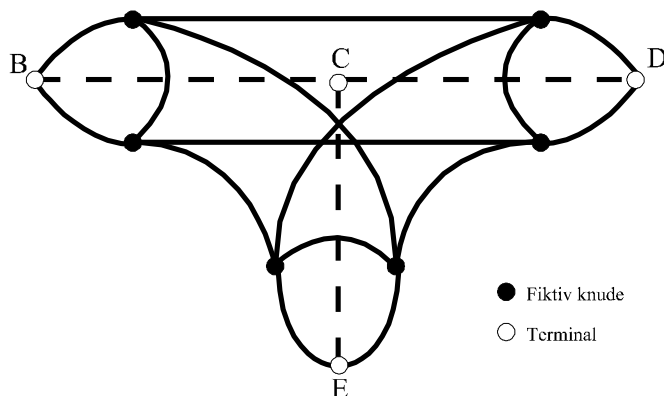
På baggrund af antallet af kollektive linier (n), der frekventerer terminalen C, kan antallet af fiktive knuder og strækninger, der er nødvendige for at modellere terminalen findes. Terminal C fra nettet i Figur 18 erstattes af n fiktive knuder, mens antallet af fiktive strækninger udtrykkes ved Ligning 1.

Ligning 1
$$\frac{n \cdot (n - 1)}{2}$$

hvor n er antallet af kollektive linier

For ovenstående eksempel giver det 3 fiktive knuder og 3 fiktive strækninger, hvortil kommer de strækninger, der allerede indgår i nettet. Af Ligning 1 ses det dog, at antallet af fiktive strækninger vokser af grad n^2 , så en terminal med 6 kollektive linier skal bruge 15 fiktive strækninger og en terminal med 15 kollektive linier skal bruge 105 fiktive strækninger.

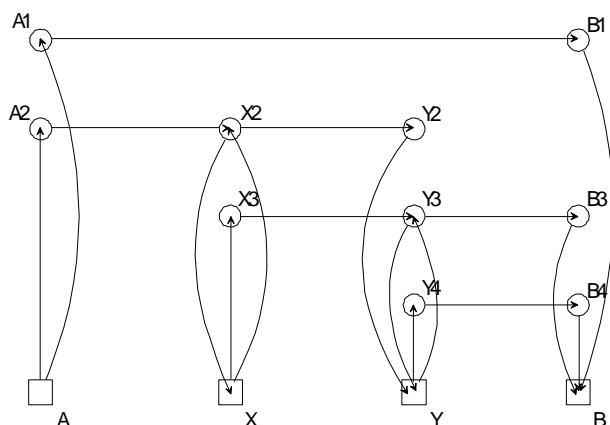
Der findes andre metoder til at modellere en terminal, blandt andet kan anvendes algoritmer, der transformerer det eksisterende net til et dualt net [De La Barra, T., Añez, J. & Pérez, B. (1996)]. Bruges denne metode på terminal C fra Figur 18 fås et netværk, som det fremgår af Figur 20. Her er resultatet et netværk med 6 (+3) fiktive knuder og 15 fiktive strækninger. Det duale net er specielt velegnet til at modellere svingforbud, som dog hovedsageligt optræder i vejnettet. Et svingforbud modelleres ganske simpel ved, at en strækning udelades. Til brug i forbindelse med kollektiv trafik er denne fremstilling ikke speciel hensigtsmæssig da antallet af fiktive strækninger igen vokser med n^2 .

Figur 20. Terminal C formuleret som et dualt netværk (baseret på [De La Barra, T., Añez, J. & Pérez, B. (1996)]).

Et andet metode fra et trafikmodelsystem der er baseret på en kollektiv liniemodel er EMME/2 [Spiess, H. & Florian, M. (1989)].

I EMME/2's datamodel modelleres på linieniveau, hvor hver linie mellem to terminaler repræsenteres af en strækning i netværket. Datamodelen kan illustreres ved et eksempel på en rejse mellem punkterne A og B som vist på Figur 21.

Figur 21. Skitse af det kollektive trafiknet, som det modelleres i EMME/2 [Spiess, H. & Florian, M. (1989)].



For overskuelighedens skyld betragtes kun strækninger for terminalerne A, X, Y og B, hvor følgende linier, der kan benyttes til en rejse fra A til B, er medtaget:

- linie 1 kører fra A til B uden stop
- linie 2 kører fra A til Y med stop i X
- linie 3 kører fra X til B med stop i Y
- linie 4 kører fra Y til B (uden stop)

Hver kollektiv linie i Figur 21 tegnet i hvert sit lag, så første vandrette lag er kørsel med linie 1, andet lag kørsel med linie 2 osv. Man har i EMME/2 modellen valgt at repræsentere hver terminal med en firkantet knude. Skift mellem linier i en terminal opdeles herefter i et skift fra den ankomende linie til terminal-knuden og et skift herfra til den afgående linie. Et skift fra linie 2 til linie 3 i terminalen X vil således blive repræsenteret af strækningerne X2 - X og X - X3. Alle strækninger i nettet har tilknyttet et sæt attributter, (modstand, frekvens), hvor modstanden er tidsforbruget på strækningen, og frekvensen naturligt nok er frekvensen for linien. De vandrette strækninger, der repræsenterer kørsel med en linie, indeholder som modstandsudtryk køretiden på den pågældende strækning, mens frekvensen sættes til ∞ . De lodrette strækninger fra linierne til terminal-knuderne svarer til at stige af en linie. Til dette regnes hverken tidsforbrug eller fastlåsning til frekvenser, så den tildelte værdi bliver $(0, \infty)$. Den sidste type strækning er de lodrette strækninger fra terminal-knuderne til linierne, hvilket svarer til at stige på en linie. Disse strækninger indeholder i modellen ikke noget tidsmæssigt modstandsudtryk men derimod en frekvens for den linie, den er knyttet til. Fordelen ved at trække frekvensen ud af lineudtrykket (de vandrette strækninger) er, at en passager, der ikke stiger af ved en terminal, men forsætter i transportmidlet, ikke oplever endnu en modstand som følge af frekvenstilpasningen.

3.1.3 DET MULTIMODALE TRAFIKNET

Ved det multimodale trafiknet forstås et trafiknet, hvor man kan skifte mellem forskellige transportmidler og et sådan kan dannes ved en sammenkoblingen af det individuelle og det kollektive netværk. Da de multimodale net ikke er så udbredte endnu, findes der kun få beskrivelser af, hvordan trafikmodellerne foretager denne kobling. I de fleste trafikmodeller, der inddrager flere transportmidler, modelleres trafikken for hvert transportmiddel for sig. Et af de første steder, hvor opbygningen af et multimodalt trafiknet er beskrevet, er præsentationen af supernetværk [Sheffi, Y. (1985)]. Ved et supernetværk opstilles i første omgang et helt simpelt multimodalt net, hvor det individuelle og det kollektive net forbindes ved i hver zoneknode at lave pseudostrækninger fra knuden til henholdsvis det individuelle og det kollektive net. Ud over denne forbindelse er de to net isolerede. Den grundlæggende ide med supernetværkene er, at indarbejde modstandsudtryk for transportmiddelvalget på pseudostrækningerne, så en rutevalgsalgoritme samtidig kommer til at indeholde valg af transportmiddel [Sheffi, Y. (1985)].

3.2 MULTIMODALE TRAFIKNET I GIS

I dette afsnit introduceres en struktur for modelleringen af multimodale trafiknet i GIS.

Modelstrukturen er afprøvet ved en implementering i det geografiske informationssystem ARC/INFO [Kronbak, J. & Riff Brems, C (1996)].

Modelleringen af trafiknet i GIS adskiller sig ikke betydeligt fra den opbygning der anvendes i forbindelse med trafikmodellerne, som gennemgæet i afsnit 3.1.

3.2.1 DET INDIVIDUELLE TRAFIKNET I GIS

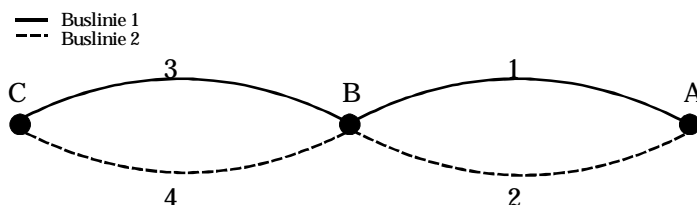
Det individuelle trafiknet modelleres i GIS på samme måde som det kendes fra trafikmodellerne, ved brug af knuder og strækninger. Rent administrativt er der dog visse fordele ved at anvende GIS til modellering af individuelle trafiknet, primært inden for kvalitetskontrol og visualisering [se bl.a. Rehfeld, C. (1995)].

3.2.2 DET KOLLEKTIVE TRAFIKNET I GIS

En del geografiske informationssystemer, blandt andet ARC/INFO, har udover knuder og strækninger et tredje netværksobjekt knyttet til topologien. Det er objektet turntable (eller svingtabel), der ligesom det duale net i afsnit 3.1.2 er beregnet på at håndtere svingforbud i vejnettet. Objektet turntable er, i modsætning til det duale netværk, opbygget til at fungere uden indlæggelse af fiktive strækninger. Desuden er det muligt at indlægge modstandstal i tabellen, således at det for den kollektiv trafik vil være muligt at modellere (vægtede) terminaltider.

Turntable objektet kan illustres ved et simpelt eksempel med en terminal B, hvor to buslinier (1 og 2) mødes som vist på Figur 22.

Figur 22. De 4 strækninger (1, 2, 3 og 4) repræsenterer de 2 buslinier, mens knuden B modellerer terminalen.



I datamodellen modelleres buslinie 1 af strækningerne 1 og 3 og tilsvarende modelleres buslinie 2 af strækningerne 2 og 4. Skiftet mellem de to forskellige linier i dette kollektive netværk modelleres i terminalen B. Hvis man betragter Figur 22, så vil en turntable for knuden B principielt kunne opfattes som den matrix, der er vist i Tabel 1, hvor de enkelte elementer svare til modstanden for den pågældende bevægelse.

Tabel 1. Turntable for terminalen B i Figur 22.

	1	2	3	4
1	U	S_{2-1}	S	S_{2-1}
2	S_{1-2}	U	S_{1-2}	S
3	S	S_{2-1}	U	S_{2-1}
4	S_{1-2}	S	S_{1-2}	U

Cellerne markeret med S (1-3, 3-1, 2-4, 4-2) angiver modstanden ved et stop i terminalen.

Cellerne markeret med S_{1-2} (1-4, 1-2, 3-2, 3-4) angiver modstanden ved skift fra buslinie 1 til buslinie 2.

Cellerne markeret med S_{2-1} (2-3, 2-1, 4-1, 4-3) angiver modstanden for skift fra buslinie 2 til buslinie 1.

Cellerne markeret med U (1-1, 2-2, 3-3, 4-4) angiver modstanden for et skift mellem de to retninger for den samme linie.

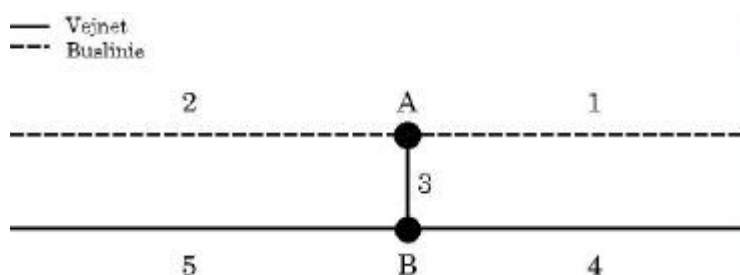
Det interessante ved denne datamodel er dels, at man undgår at indlægge fiktive strækninger for at modellere skift mellem de forskellige kollektive linier og dels at turntablen indgår som et topologisk element i det geografiske informationssystem. Det betyder, at fordelene med hensyn til kvalitetskontrol kan anvendes også for de kollektive net. Samtidig bliver skiftene i terminalerne væsentlig nemmere at administrere, især i forhold til en modellering baseret på fiktive strækninger.

I et multimodalt trafiknet vil der ud over muligheden for skift mellem de forskellige linier i en terminal næsten altid være mulighed for skift mellem det kollektive netværk og vejnettet. Hvordan det kan modelleres gennemgås i afsnit 3.2.3.

3.2.3 DET MULTIMODALE TRAFIKNET I GIS

Som nævnt i afsnit 3.1.3 anvendes ofte en modelform for de multimodale netværk, hvor det kollektive netværk kobles med det individuelle net med fiktiv strækning [Sheffi, Y. (1985)]. Dette princip er illustreret på Figur 23, hvor det kollektive net for overskuelighedens skyld kun består af en enkelt linie.

Figur 23. Modelleringen af koblingen mellem det kollektive og det individuelle trafiknet ved hjælp af en fiktiv strækning.

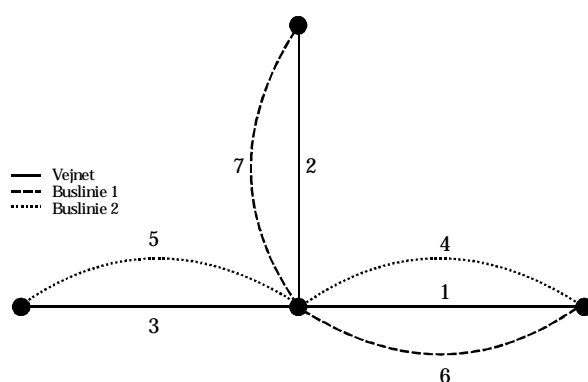


Koblingen sker mellem terminal A i det kollektive net og knude B i det individuelle net ved hjælp af den fiktive strækning 3. Hvis terminalen A ikke svarer til en knude i det individuelle net, kan man vælge enten at tilføje en pseudoknude til det individuelle net eller at vælge knude B som den eksisterende knude, der passer bedst. Hvilken metode, der benyttes, bør afhænge af formålet med trafiknettet.

Ved at benytte fiktive strækninger til koblingen mellem nettene opnås, at det multimodale net kan opdeles i et individuelt og et kollektivt net, hvis separate analyser ønskes. Dette kan ske ved at sætte modstanden gennem den fiktive strækning til et meget stort tal.

En anden modelform, som er mulig i GIS er, at lade strækningerne i det individuelle net indgå direkte i terminalerne på lige fod med de kollektive linier. Dette vil dog medføre kompleksiteten i terminalen, da opdeling eller samling af nettene skal ske ved justeringer i hver enkelt turtable. Samtidig vil dimensionen af den enkelte turtable stige afhængig af antallet af strækninger i det individuelle trafiknet. Dette er eksemplificeret i Figur 24, hvor tre vejstrækninger og 2 buslinier mødes i en terminal.

Figur 24. Modelling af koblingen mellem det kollektive og det individuelle trafiknet ved hjælp af en enkelt terminal.



Her vil en samling af det kollektive og det individuelle net resultere i en turtable med dimensioner 7×7 , det vil sige i alt 49 elementer, som vist i Tabel 2. Benyttes i stedet

princippet med at indskyde en fiktiv strækning fås en tabel for det kollektive net med dimensioner 5x5.

Tabel 2. TURNTABLE for terminalen i knude B.

	1	2	3	4	5	6	7
1	U_v	S_v	S_v	S_{k-v}	S_{k-v}	S_{k-v}	S_{k-v}
2	S_v	U_v	S_v	S_{k-v}	S_{k-v}	S_{k-v}	S_{k-v}
3	S_v	S_v	U_v	S_{k-v}	S_{k-v}	S_{k-v}	S_{k-v}
4	S_{v-k}	S_{v-k}	S_{v-k}	U_k	S_k	S_k	S_k
5	S_{v-k}	S_{v-k}	S_{v-k}	S_k	U_k	S_k	S_k
6	S_{v-k}	S_{v-k}	S_{v-k}	S_k	S_k	U_k	S_k
7	S_{v-k}	S_{v-k}	S_{v-k}	S_k	S_k	S_k	U_k

- U_v : U - vending for trafik på vejnettet
 U_k : U - vending for trafik på det kollektive net
 S_k : Skift i det kollektive net (svarende til det tidligere eksempel)
 S_v : Skift i vejnettet
 S_{k-v} : Skift fra det kollektive net til vejnettet
 S_{v-k} : Skift fra vejnettet til det kollektive net

Den umiddelbare forskel mellem de to datamodeller er, at dimensionen af turntablen vokser med antallet af vejstrækninger i terminalen, men der ligger også en forskel i, hvordan man adskiller de to netværk. Hvor man i det første tilfælde ændrede modstanden på en fiktiv strækning, når man ønsker at "lukke" forbindelsen mellem de to netværk, er man ved denne datamodel nødt til at ændre modstanden for bevægelserne mellem de to net (i dette tilfælde S_{k-v} og S_{v-k}) i selve turntablen. Dette er ikke særligt hensigtsmæssig, idet man vil være nødt til at lagre skiftemodstand et andet sted, for det tilfælde at man ønsker at forbinde de to net igen.

3.3 KONKLUSION OG OPSUMMERING

I dette kapitel er vist, hvorledes det er muligt at modellere et multimodale netværk i GIS. I kapitlet er der præsenteret en pseudometode til modellering af en terminal i det geografiske informationssystem ARC/INFO. Metoden kan også anvendes i andre geografiske informationssystemer hvor svingtabeller indgår som en del af topologien.

Som det blev diskuteret i kapitel 2 har valget af datamodel i GIS direkte indflydelse på mulighederne for modellering og analyse. Det betyder samtidig, at selve datamodelleringen af de multimodale netværk er en vigtig del af grundlaget for at kunne gennemføre en multimodal trafikplanproces.

Der er derfor også i dette kapitel gjort opmærksom på analytiske fordele og ulemper ved forskellige typer af multimodal netværksmodellering.

Endelig er der også i kapitlet påpeget en mangel ved datastrukturen i de geografiske informationssystemer, med hensyn til modelleringen af multimodale netværk. Langt de fleste geografiske informationssystemer er ikke i stand til at håndtere en terminal som et topologisk netværksobjekt, hvilket er et problem med hensyn til modellering af kollektiv trafik. Derfor foregår der også p.t. forskning i, hvordan netop dette problem løses¹⁰.

¹⁰ Se bl.a. [Thorlacius, P. (1998)].

4. KONSEKVENSBEREGRNINGER

Beregninger af trafikens konsekvenser indgår som en naturlig del af trafikplanprocessen. Traditionelt har konsekvensberegningen været baseret på hvad man kan kalde strækningsbaserede modeller. Det vil sige, modeller der tager udgangspunkt i den traditionelle opfattelse af, at trafikken begrænser sig til strækninger og konsekvenserne bestemmes ud fra disse strækninger. Imidlertid åbner brugen af geografiske informationssystemer også op for en rumlig modellering af trafikens konsekvenser. Derfor gennemgås i dette kapitel først en række "traditionelle" konsekvensberegningssmodeller og dernæst vises eksempler på hvordan disse modeller er blevet implementeret i GIS.

De traditionelt anvendte strækningsbaserede modeller gennemgås kort i afsnit 4.1, mens eksemplerne på implementering bliver gennemgået i afsnit 4.2. Endelig afsluttes kapitlet med en konklusion og opsummering i afsnit 4.3.

4.1 STRÆKNINGSBASEREDE KONSEKVENSBEREGRNINGSSMODELLER

Som introduktion til de strækningsbaserede konsekvensberegningssmodeller gennemgås fire typer af modeller som man traditionelt har anvendt:

- Støjmodeller
- Emissionsmodeller
- Barrieremodeller
- Uheldsmodeller

Eksempler på hver af disse modeltyper gennemgås i de følgende afsnit.

4.1.1 STØJBEREGRNING

Det ligger uden for denne afhandling at foretage en dybtgående indføring i begrebet støj og opfattelsen af denne, men i det følgende afsnit er givet en summarisk beskrivelse af de vigtigste forhold og begreber [Kronbak, J. (1993)].

Meget betegnende defineres støj normalt som uønsket lyd. Lyde opfattes af det menneskelige øre, som svingninger i et medie (i dette tilfælde først og fremmest luft). Det menneskelige øre kan under normale omstændigheder opfatte svingninger fra ca. 15Hz - 20.000Hz. Denne spændvidde i det hørbare område gør, at det vil være uhensigtsmæssig at beskrive støj med en lineær skala afhængig af svingningstiden. Derfor beskrives lydtrykkniveaue ved hjælp af en logaritmisk skala, baseret på 10-tals logaritmen, som angivet i Ligning 2.

$$\text{Ligning 2} \quad L_p = 10 \cdot \log \frac{P_{eff}^2}{P_0^2}$$

hvor L_p er lydtrykkniveaue
 P_{eff} er det effektive lydtryk
 P_0 er udgangsværdien (20×10^{-6} pascal)

Lydtrykkniveaue L_p måles i enheden decibel (dB).

Ligning 2 betyder, at en fordobling af lydtrykket giver en forøgelse på 6 dB i lydtrykniveauet. Denne forøgelse bliver "udjævnet" lidt, hvis man har flere ensartede lyde som er ude af fase, som f.eks. trafikstøj fra en vejstrækning. Derfor bruges den forenkling, at en forøgelse af støjklenderne giver en forøgelse i lydtrykniveauet på 3 dB.

Imidlertid opfatter det menneskelige øre lyden på en helt speciel måde, idet der normalt skal en forøgelse på 10 dB til, før man subjektivt fornemmer at støjen er fordoblet. Samtidig opfattes de forskellige frekvenser ikke som værende lige højtlydende ved samme lydtrykniveau. Generelt vil øret opfatte de høje toner som mere generende end de lave. For at kompensere for dette forhold, har man indført en vægtning med det såkaldte A-filter, der efterligner ørets måde at opfatte lyde på. Når man bruger dette filter måler man et lydtrykniveau der kaldes det A-vægtede lydtrykniveau i dB eller bare lydtrykniveauet i dB(A).

Typisk har man interesse i at måle to former for støj, dels et maksimalt niveau og dels et gennemsnit over en længere tidsperiode, f.eks. et døgn. Dette gennemsnit betegnes også som det energiekvivalente, konstante lydtrykniveau (L_{eq}) og defineres på samme måde som lydtrykniveauet L_p (Ligning 2), blot er det effektive lydtryk erstattet med et gennemsnit over et tidsrum. Hvis lydtrykniveauet er A-vægtet, betegnes det med L_{Aeq} , som er det udtryk der anvendes mest i forbindelse med trafikberegninger.

I forbindelse med beregninger af vejtrafikstøj opfattes vejen som en liniekilde. En forudsætning for denne betragtning er, at trafikstrømmen er forholdsvis konstant og ikke alt for pulserende.

Den fælles nordiske støjberegningsmodel

Den mest anvendte støjberegningsmodel i Danmark er den fællesnordiske beregningsmodel for vejtrafikstøj. Derfor vil der i det følgende blive givet en kort gennemgang af denne model¹¹.

Modellen er opbygget som en række trin, for at finde det ækvivalente A-vægtede støjniveau L_{Aeq} ved en given trafik.

For det ækvivalente A-vægtede støjniveau L_{Aeq} bestemmes i det første trin en basisstøjbelastning, der i 4 efterfølgende trin reguleres efter de faktiske forhold.

Det giver en opbygning af støjberegningen som vist i Ligning 3.

$$\text{Ligning 3} \quad L_{Aeq} = L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3 + \Delta L_4 + \Delta L_5$$

Hvor L_1 giver støjniveauet i en afstand på 10 meter fra en uendelig lang, lige og vandret vej på en hård terrænoverflade.

ΔL_2 korrigerer for, at afstanden kan være en anden end 10 meter.

ΔL_3 korrigerer for andre terrænformer og eventuelle skærme.

ΔL_4 korrigerer for andre afvigelser f.eks. brug af en særlig tyk støjskærm.

ΔL_5 korrigerer for facadernes lydisolering.

Ved hjælp af alle korrektionerne kan man tage højde for følgende parameter:

¹¹ Modellen blev oprindeligt udviklet i 1981 og revideret til den nuværende form i 1989 [VDL (1991)]. Da [VDL (1991)] kun indeholder nomogrammer er det nødvendigt at bruge den svenske udgave [Naturvårdsverket (1991)] for at få de anvendte formler.

- Trafikkens intensitet
- Andelen af tunge køretøjer
- Hastigheden
- Afstanden fra vejmidten og ved små afstande vejens bredde
- Vejbanens højde over terræn
- Skærmes højde og placering
- Skærmes tykkelse
- Beregningspunktets højde over terræn og placering i forhold til vejmidte og skærme
- Beregningspunktets placering i forhold til reflekterende lodrette flader
- Terrænets karakter

Tilsvarende kan man bestemme den maksimale værdi af det A-vægtede lydniveau L_{Amaks} , ved et enkelt køretøjs passage. Ved denne udregning er det muligt at tage højde for følgende parameter:

- Typen af køretøj
- Afstanden fra vejmidten
- Vejbanens højde over terræn
- Skærmes højde og placering
- Skærmes tykkelse
- Beregningspunktets højde over terræn og placering i forhold til vejmidte og skærme
- Beregningspunktets placering i forhold til reflekterende lodrette flader
- Terrænets karakter

Støjbelastningstallet (SBT)

Et er, at bestemme støjniveauet langs en vej, men man er i de fleste tilfælde mere interesseret i at foretage en vurdering af den gene som støjen forårsager. Det er klart, at f.eks. støjniveauet langs en motorvej i åben land ikke påvirker nær så mange mennesker som f.eks. støjniveauet på en trafikvej i byzone.

På denne baggrund indførte man en beregningsalgoritme for at tage hensyn til hvordan støjen var til gene, det såkaldte støjbelastningstal (SBT).

Støjbelastningstallet giver mulighed for at udregne et udtryk for den støjgene trafikken forårsager, hvis man kender mængden af beboere langs vejen. Ved etplans bebyggelse langs vejen fås SBT direkte, mens man ved etagebyggeri er nød til at udføre beregningerne i flere trin. Det gøres på den måde, at man først udregner for beboere i stuen, svarende til en modtagerhøjde på 2 meter, dernæst for 1 sal, med en modtagerhøjde på 4 meter og så fremdeles.

Støjbelastningstallet består af tre lydniveau bidrag:

- Udendørs 2m foran vinduet til det mest støjbelastede opholdsrum L_{uf}
- Udendørs i det værst støjramte punkt på de primære udendørs opholdsarealer L_{uo}
- Indendørs i det værst støjramte opholdsrum L_i

Hver af de tre bidrag vægtes efter en genefaktor for at bestemme støjbelastningstallet for strækningen. Praksis har været, at SBT kun blev beregnet for særligt udvalgte strækninger, da antallet af beboer langs strækningerne skulle findes manuelt. I afsnit 4.2.1 vises hvordan brugen af GIS giver helt nye muligheder for at bestemme støjbelastningen.

4.1.2 EMISSIONSBEREGNING

Emissionsberegningerne adskiller sig fra støjberegningerne ved, at effekterne kan opdeles som lokale, regionale og globale [Rehfeld, C. (1995)].

Emissionen fra trafikken indeholder en lang række gasser, hvoraf de fleste allerede findes i atmosfæren og kun nogle enkelte kan betegnes som giftige. Udledningen af de giftige gasser er styret af en række faktorer, relateret til køretøjet, kørselsmønstret og selve trafiknetværket [Rehfeld, C. (1995)].

Af køretøjsrelaterede parametre findes:

- Køretøjets mærke og type
- Køretøjets alder
- Stand
- Motor temperatur, størrelse og justering
- Brændstof type (benzin diesel)
- Udstødningssystem (filtre, katalysator)

Af parametre relateret til køremønstret findes:

- Acceleration/deceleration
- Hastighedsspænd
- Tomgang (kø eller parkering)

Af parametre relateret til netværket findes:

- Belægnings egenskaber (type og vedligeholdelse)
- Tracé (gradienter og kurveradier)
- Omgivelser (landzone, byzone)

Udfra disse parametre er det muligt at bestemme den forventede emission fra en given vejstrækning.

Imidlertid er det ikke selve emissionen der er interessant, men derimod den eksponering som emissionen forårsager. Man opdeler effekten på mennesker af de emitterede gasser i tre kategorier [Rehfeld, C. (1995)].

- Additiv effekt (effekten er lig summen af de indgående effekter)
- Synergistisk effekt (effekten er større end summen af de indgående effekter)
- Antagonistisk effekt (effekten er mindre end summen af de indgående effekter)

Disse effekter danner udgangspunktet for de to typer af eksponeringsmodeller man normalt anvender:

- Modtagereksponeringsmodeller (modeller der typisk beskriver det enkelte individs eksponering)
- Kildeeksponeringsmodeller

Modtagereksponeringsmodellerne vil ikke blive behandlet nærmere, da de er temmelig komplicerede og kræver indgående kendskab til individets bevægelsesmønster [Solvang Jensen, S. (1998)].

Kildeeksponeringsmodellerne beregner eksponeringen i et specifikt punkt på basis af de kilder der bidrager til forureningen. I forbindelse med trafikplanprocessen er det typisk denne type modeller der anvendes til at give et overblik over den eksponering trafikken giver anledning til. Kildeeksponeringsmodellerne har det samme problem, som støjbelastningstallet (se afsnit 4.1.1) nemlig, at antallet af eksponerede individer langs strækningerne skal findes manuelt. I afsnit 4.2.1 vises hvordan brugen af GIS giver nye muligheder for at bestemme emissionseksponeringen.

4.1.3 BARRIEREMODEL

I Danmark er barriereeffekten traditionel defineret som et produkt af et krydsningsbehov og en barrierevirkning [Vejdirektoratet (1992)]¹². Barrierevirkningen findes som funktion af:

- Årsdøgntrafikken (ÅDT)
- Lastbilandelen
- Hastigheden
- Antallet af krydsningsfaciliteter (fodgængerovergange, tunneler og lig.)

Krydsningsbehovet findes som funktion af:

- Bebyggelsesvægt (der skelnes mellem højre og venstre side af vejen og bebyggelseskarakteren)
- Længden af vejen

Som for de øvrige stræknings-baserede modeller gælder, at oplysningerne om vejens omgivelser skal indhentes manuelt, hvilket besværliggør anvendelsen af barrieremodeller på større trafiksystemer.

4.1.4 UHELDSMODELLER

Modeller til beskrivelse af det forventede antal uheld er en vigtig del af konsekvensvurderingen, især på lokalt niveau. Disse uheldsmodeller anvendes til at lokalisere steder i transportsystemet, hvor antallet af uheld er signifikant højere end hvad der kunne forventes¹³. Traditionelt skelner man inden for vejtrafik mellem modeller for strækningsuheld og modeller for krydsuheld [Vejdatalaboratoriet (1983)].

For strækningsuheld anvendes i Danmark en model med en udformning som i Ligning 4.

¹² For en nærmere diskussion af barriereeffekt se evt. [Larsen, L. E. (1997)].

¹³ De såkaldte "sorte pletter".

$$\text{Ligning 4} \quad U = a \cdot N^p \cdot L$$

Hvor U er det forventet antal uheld
 N er årsdøgntrafikken
 L er længden af den betragtede strækning
 p er modelparameter

Det vil sige, at det antal uheld man kan forvente på en strækning afhænger af strækningens længde og den trafik der benytter strækningen.

For krydsuheld anvendes i Danmark en model med en udformning som i Ligning 5.

$$\text{Ligning 5} \quad UT = a \cdot N_p^{p1} \cdot N_s^{p2}$$

Hvor UT er antal uheld pr. år (uheldstætheden)
 N_p og N_s er årsdøgntrafikken på henholdsvis primær og sekundær retningerne
 a, p1 og p2 er modelparametre

Det forventede antal uheld i kryds afhænger først og fremmest af trafikens fordeling på hovedstrømme gennem krydset.

For modellerne i Ligning 4 og Ligning 5 gælder, at modelkonstanterne estimeres ud fra de uheld der observeres over en årrække. For at opnå den bedst mulige modelleringer, skelnes der mellem forskellige klassificeringer af kryds og vejstrækninger og uheldene deles op i uheld med personskade og uheld med materielskade¹⁴.

Navnlig observationen af uheld er meget vigtig i sikkerhedsarbejdet. I Danmark foretages denne registrering i en uheldsdatabase og uheldsdata opdeles i 4 grupper [Grevy, B. (1996)]:

- Uheldsoplysninger
- Stedfæstelsesoplysninger
- Elementoplysninger
- Personoplysninger

Uheldsoplysningerne dækker over en klassificering af den trafikale situation der førte til uheldet, mens stedfæstelsesoplysningerne angiver hvor på vejnettet at uheldet er sket. Elementoplysningerne vedrøre de transportmidler der har været involveret i uheldet, mens personoplysningerne omhandler de personer, der har været involveret i uheldet.

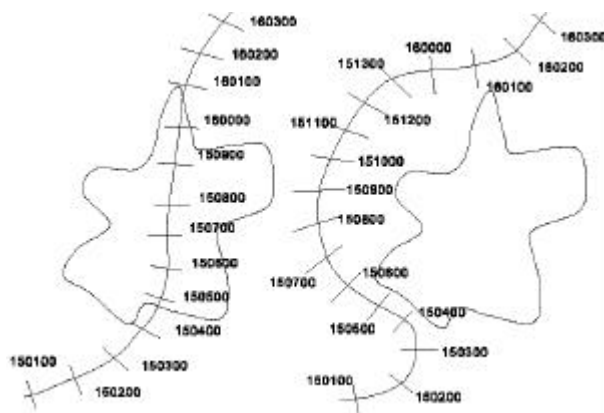
Indsamling og behandling af uheldsoplysninger, elementoplysninger og personoplysninger vil ikke blev behandlet nærmere i denne sammenhæng.

Stedfæstelsesoplysningerne består for krydsuheld af en identifikation af de vejstrækninger, der indgår i krydset, og for strækningsuheld af en identifikation af vejstrækningen og den kilometrerung, hvor uheldet er sket. Netop stedfæstelsen af uheldene har stor betydning for udpegning og bekæmpelse af sorte pletter. Et vigtigt forhold ved stedfæstelsen er den kilometrerung der anvendes. I den danske uheldsdatabase anvendes et 6-cifret tal til strækningsreference. De første 2 cifre er hel-kilometer delen og de sidste 4 cifre er meterdelen. De 4 cifre til meterdelen anvendes for at man ved ændringer i vejnettet kun

¹⁴ De såkaldte ap-typer. For en nærmere beskrivelse af sorte pletter, ap-typer og uheldsbekæmpelse se evt. [Vejdatalaboratoriet (1983), Vejdatalaboratoriet (1985), Kronbak, J., Greibe, P. (1994) eller Grevy, B. (1996)]

skal ændre kilometreringsen mindst muligt. Fordelen ved overkilometrering kan illustres som på Figur 25 der viser et eksempel på ændringen af kilometreringsen ved etablering af en omfartsvej [Grevy, B. (1996)].

Figur 25. Eksempel på ændringen af kilometreringsen ved etablering af en omfartsvej [Grevy, B. (1996)].



Normalt baseres stedfæstelsen enten på en opmåling af selve ulykkesstedet eller udfra en beskrivelse af hvor ulykken er sket.

4.2 RUMLIGE KONSEKVENSBEREKNINGSMODELLER

Den stigende mængde af data, der efterhånden er tilgængelig med en geografisk reference, åbner nye muligheder for konsekvensberegningssmodellerne. I det følgende vises eksempler på "rumlig" modificering af de strækningsbaserede konsekvensmodeller der er gennemgået i afsnit 4.1.

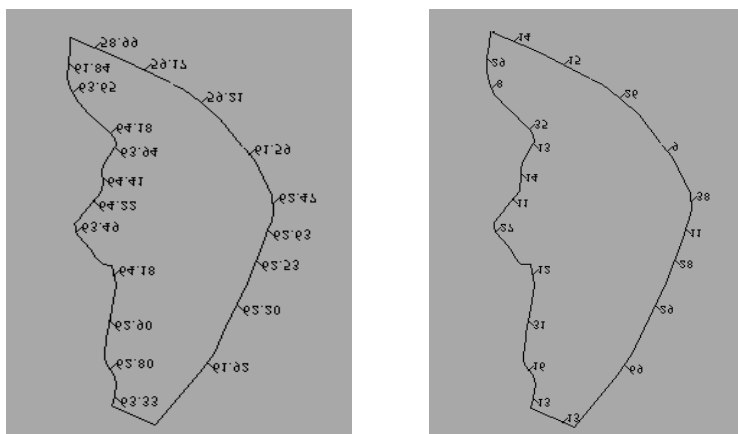
4.2.1 STØJBeregning

Der findes en række eksempler på en rumlig udvidelse af støjberegningssmodellerne, hvor der i forskellig grad er gjort anvendelse af de rumlige analysemuligheder som anvendelsen af GIS giver. Fælles for de følgende tre eksempler er, at de er baseret på den fællesnordiske støjberegningssmodel.

TransCad modellen

Et af de første eksempler på en udvidelse af den fællesnordiske støjberegningssmodel var en implementering i det geografiske informationssystem TransCad [Kronbak, J. (1993)]. I forbindelse med implementeringen blev modellen afprøvet ved brug af en eksisterende trafikmodel for Næstved kommune. Støjen langs ringvejen rund om bykernen blev kortlagt og effekten af etableringen af en støjmur blev undersøgt. Det geografiske informationssystem blev i denne implementering kun anvendt til at administrere det geokodede vejnet og visualisere resultaterne. Antallet af beboer langs de enkelte strækninger blev vurderet på stedet og udfra denne vurdering blev støjbelastningstallet udregnet med og uden etableringen af en støjmur. Et eksempel på visualiseringen af resultaterne kan ses i Figur 26.

Figur 26. Eksempel på primitiv visualisering i GIS. Kortet til venstre viser støjen i dB(A) og kortet til højre støjbelastningstallet for de enkelte delstrækninger [Kronbak, J. (1993)].



Som det kan ses på Figur 26 er visualiseringen forholdsvis primitiv, men giver stadig et væsentlig bedre indtryk af støjens fordeling langs ringvejen end en tabel.

Buffermodellen

Et eksempel på en bedre udnyttelse af de analytiske muligheder¹⁵ ved implementering af den fællesnordiske støjberegningsmodel i GIS er den såkaldte buffermodel [Rehfeld, C. (1995)]. En buffer er, som navnet antyder, en afgrænsning lagt uden om en geometrisk figur i det geografiske informationssystem.

Hvor den fællesnordiske støjberegningsmodel tager udgangspunkt i at beregne støjen i en givet afstand fra vejen, tager en buffermodel udgangspunkt i at bestemme den afstand fra vejstrækningen, hvor der er et givet støjniveau.

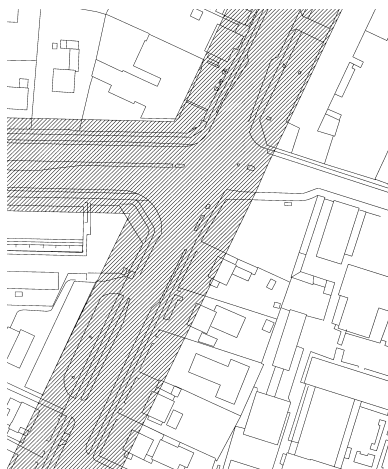
Formålet med buffermodellen har ikke været at foretage detaljeundersøgelser af enkelt strækninger, men derimod at få et samlet sammenhængende overblik over støjen i et geografisk område. Netop i denne sammenhæng har brugen af GIS en række fordele, bl.a. i forbindelse med visualisering og rumlige analyser. På Figur 27 kan ses et eksempel på den maksimale udbredelse af en 65 dB(A) støjkurve omkring en motorvej og på Figur 28 kan ses et eksempel på den maksimale udbredelse af en 65 dB(A) støjkurve i et gaderum [Rehfeld, C. (1995)].

Figur 27. Den maksimale udbredelse af en 65 dB(A) støjkurve fra motorvejen omkring Høje Taastrup [Rehfeld, C. (1995)].



¹⁵ Se evt. afsnit 2.4.3 og 2.4.4 for en beskrivelse af de analytiske muligheder i GIS.

Figur 28. Den maksimale udbredelse af en 65 dB(A) i et gaderum (Køgevej) i Høje Taastrup [Rehfeld, C. (1995)].



Figur 27 og Figur 28 giver som illustrationer umiddelbart et overblik over støjbelastningen fra de to strækninger og anskueliggør omfanget af støjbelastede bygninger. Disse to forhold er særdeles nyttige i en planlægningsfase og buffermodellen er dermed velegnet til støjkortlægning på et mere overordnet planlægningsniveau. Ud over visualiseringen giver brugen af GIS også mulighed for at anvende rumlige analyser. I forbindelse med buffermodellen vil det være muligt at lave tematisk udvælgelse på baggrund af de topologiske relationer (se evt. afsnit 2.4.3) således, at en udvælgelse f.eks. kunne omfatte alle bygninger inden for en given maksimal støjbelastning.

Hvor man ved den traditionelle anvendelse af den fællesnordiske støjberegningsmodel skal indsamle oplysninger om strækningernes omgivelser manuelt, er buffermodellen baseret på en anvendelse af allerede eksisterende geografiske data. Disse data kan komme fra mange forskellige kilder som f.eks. digitale matrikelkort eller andre administrative digitale kort.

Der er dog visse begrænsninger i brugen af buffermodellen. Bl.a. tages det ikke højde for f.eks. skyggeeffekten af foranliggende bygninger, idet der kun korrigeres for den fysiske afstand fra vejstrækningen ligesom der normalt ikke korrigeres for f.eks. refleksioner i et gaderum. Det betyder, at modellen ikke er egnet til at udregne støjeksponeringen i form af støjbelastningstallet, da de mulige korrektioner vil give al for stor usikkerhed.

Ofte er man dog interesseret i at finde støjeksponeringen frem for den støjdbredelse som buffermodellen finder. Det har givet anledning til gennemførelsen af Middelfartprojektet [Miljøstyrelsen (1996)] som behandles og kommenteres i det følgende afsnit.

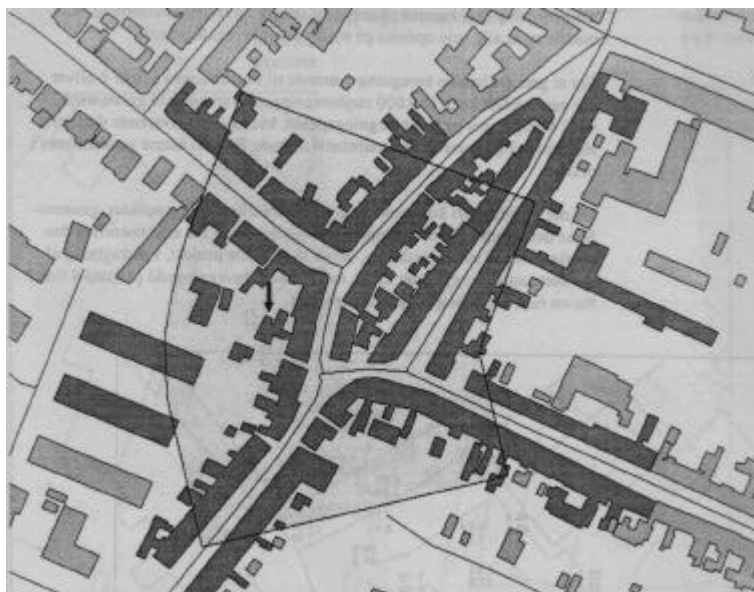
Middelfartprojektet

Formålet med Middelfartprojektet var, at undersøge mulighederne for at udnytte digitale informationer til detaljerede støjberegninger i en hel kommune [Miljøstyrelsen (1996)].

Som for TransCad- og Buffermodellen er det den fællesnordiske støjberegningsmodel, der bruges som beregningsmodel, dog er beregningsmetodikken anderledes på en række punkter.

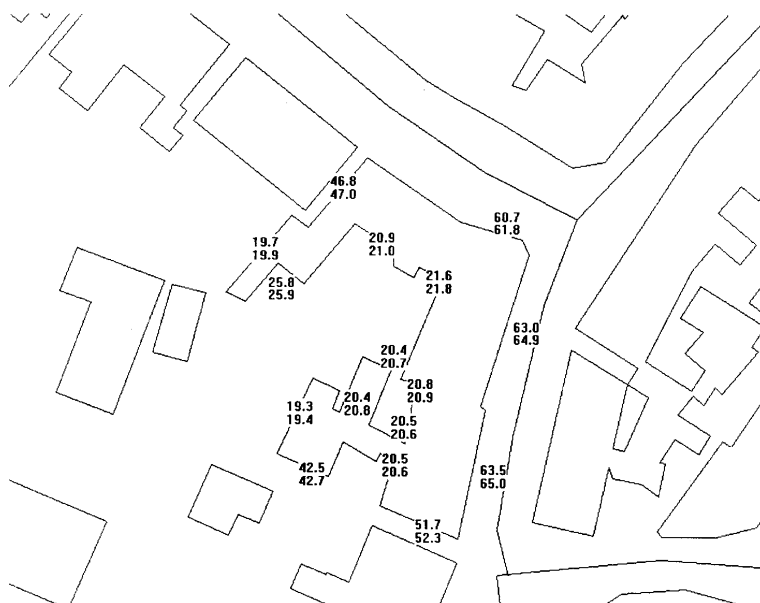
I første omgang anvendes en buffermodel for at bestemme de bygninger der påvirkes af støj fra de enkelte vejstrækninger, som Figur 29 illustrerer.

Figur 29. Udvalgelse af bygninger, der belastes af støj fra en vejstrækning, ved brug af en buffermodel [Miljøstyrelsen (1996)].



For samtlige knuder i hver enkelt bygning laves dernæst en tilbageskæring (ray-tracing) til de strækninger, der kan bidrage til støjbelastningen, under hensyntagen til den skærmning de øvrige bygninger giver. I gennemsnit gav det i Middelfartprojektet 4161 beregninger pr. støjberegningspunkt [Miljøstyrelsen (1996)]. Resultatet af disse beregninger blev et lydtryksniveau på facaden, som Figur 30 illustrerer.

Figur 30. Det beregnede lydtryksniveau på de enkelte facader af en udvalgt bygning i Middelfart [Miljøstyrelsen (1996)].



Efter at støjbelastningen på facaderne af bygningerne var bestemt, var næste skridt, at bestemme den eksponering, som støjbelastningen gav anledning til. Her blev BBR-oplysninger¹⁶ relateret til de enkelte bygninger vha. den geokodet adresse og støjbelastningstallet beregnet i forhold til den største facadebelastning. Dette er en interessant udnyttelse af de tilgængelige digitale informationer. Ved at anvende oplysninger fra BBR-registeret fås et overblik over boligernes placering i de forskellige bygninger og dermed et væsentlig bedre udgangspunkt for en estimering af støjbelastningen. Et eksempel på den visualisering denne metode giver anledning til kan ses på Figur 31.

Figur 31. Eksempel på visualisering af støjkortlægningen i Middelfartprojektet [Miljøstyrelsen (1996)].



Selve beregningen af støjen i forbindelse med Middelfartprojektet rejser en interessant problemstilling. Først og fremmest er det diskutabelt, om man bør anvende en forholdsvis simpel støjberegningsmodel, som den fællesnordiske, til at lave beregninger med 1/10 nøjagtighed, som vist på Figur 30. Beregningsmodellen er, som nævnt i afsnit 4.1.1, bygget op omkring en udgangssituation og en række korrektioner for afvigelser fra udgangssituationen. En ændring af det beregnede støjniveau med 1/10 dB(A) svare f.eks. til en ændring af trafikmængden i udgangssituationen på 2% hvad der svare til en stigning i ÅDT fra 24.000 til 24.560 [Naturvårdsverket (1991)]. Det er de færreste trafikmodeller der kan garantere en så lille usikkerhed. På trods af det diskutabelt i anvendelsen af selve modellen ændre det ikke ved, at der er et potentiale for at anvende GIS til beregning af støjbelastningen for større geografiske områder.

4.2.2 EMISSIONSBEREGNING

I modsætning til støjberegningen afhænger emissionsberegningen i meget høj grad af det enkelte køretøj. Det medfører, at emissionsberegningerne kræver et helt andet detaljeringniveau for trafikken end støjberegningerne. Disse oplysninger om køretøj og

¹⁶ Bygge og Bolig Registeret.

køremønstre er imidlertid ikke direkte geografisk relateret og kommer oftest fra den trafikmodel som anvendes. Det betyder også, at en anvendelse af GIS først og fremmest vil give mulighed for et bedre beregningsgrundlag for de parametre der indgår i emissionsberegningerne og som er direkte netværks relaterede.

Brugen af GIS giver først og fremmest mulighed for at forbedre de eksponeringsmodeller som emissionsmodellerne danner grundlaget for. Især for kildeeksponeringsmodellerne giver brugen af GIS nye muligheder, på samme måde som for beregningen af støjeksponeringen.

På Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) har man udviklet en GIS baseret kildeeksponeringsmodel og det er hensigten at kildeeksponeringsmodellen skal udgøre grundlaget for en modtagereksponeeringsmodel [Solvang Jensen, S. (1998)]. Man har igen anvendt Middelfart til afprøvning af systemet, som vist på Figur 32.

Figur 32. Eksempel på fordelingen af Benzen i Middelfart. Kortet viser årsniveauet for benzen beregnet på de enkelte adresser i et udsnit af det centrale Middelfart [Solvang Jensen, S. (1998)].



4.2.3 BARRIEREMODEL

Modeller for barriereeffekten er som oftest baseret på den enkelte strækning (i form af barrierevirkningen) og de umiddelbare omgivelser (i form af krydsningsbehovet).

Brugen af GIS vil ikke umiddelbart give nogen fordel med hensyn til modelleringen af barrierevirkningen. Eftersom modellerne for barrierevirkningen traditionelt udelukkende er strækningsbaseret vil det være svært at udnytte de muligheder for rumlige analyser bugen af GIS vil give. Der vil dog stadig kunne opnås visse fordele ved en implementering af modeller for barrierevirkningen i GIS f.eks. med hensyn til visualisering.

De bedste muligheder for en udnyttelse af de analytiske funktioner i GIS vil være indenfor modeller til beskrivelse af krydsningsbehovet.

Traditionelt har krydsningsbehovet været modelleret som værende afhængig udelukkende af bebyggelsen langs selve vejstrækningen. Ved anvendelse af GIS gøres det muligt at foretage modellering på microniveau af de trafikstrømme, der antages at have et kryds-

ningsbehov¹⁷. Muligheden for micromodellering er først og fremmest bestemt af det datagrundlag der kan skaffes ved udnyttelse af de eksisterende georefererede registre. Et eksempel på et sådan datagrundlag for Middelfart kan ses anvendt i afsnit 4.1.1 og 4.1.2.

Der mangler dog stadig eksempler på implementeringer af nye rumlige modeller for krydsningsbehovet i GIS.

4.2.4 UHELDSMODELLER

Implementeringen af uheldsmodeller til sortpletudpegning i GIS vurderes at give fordele på 3 områder [Grevy, B. (1996)]:

- Klassificering af vejstrækninger
- Konsistent behandling af stræknings- og trafikoplysninger
- Mulighed for tematisk udvælgelse af uheldsdata

Et af kriterierne for klassificering af vejstrækningerne er, om der eksisterer randbebyggelse langs strækningen. Netop denne type klassifikation er simpel at fortage, med de muligheder for rumlig analyse der ligger i GIS. Samtidig sikre brugen af GIS, at klassifikationen foretages ud fra ensartede kriterier og ikke udelukkende er en objektiv vurdering.

Med hensyn til behandlingen af stræknings- og trafikoplysninger, så er der visse sammenhænge som kan udnyttes i modelleringen. For strækningsoplysningerne vil en implementering i GIS give bedre mulighed for at kontrollere sammenhængen mellem den beskrivelse der ligger til grund for stedfæstelsen og de faktiske fysiske forhold. For trafikoplysningerne vil en anvendelse af GIS give bedre mulighed for f.eks. at overføre oplysninger om trafikmængderne på strækningerne til de indgående strømme i kryds.

Det at få lagt uheldsoplysningerne ind i den relationelle database, som de fleste GIS er baseret på, giver mulighed for at udvælge og få vist vilkårlige kombinationer af uheld og lokaliteter. Dermed ville der være mulighed for at finde andre sammenhænge mellem lokaliteter og uheld end de traditionelle uheldsmodeller er baseret på.

4.3 KONKLUSION OG OPSUMMERING

En del af formålet med dette kapitel har været, at vise, hvorledes en række eksisterende konsekvensberegningsmodeller er blevet implementeret i GIS.

I afsnit 4.1 er således gennemgået eksempler på en række strækningsbaserede konsekvensberegningsmodeller. Fælles for dem alle er, at disse beregningsmodeller har dannet grundlaget for en implementering i GIS. Eksempler på disse implementeringer er gennemgået i afsnit 4.2. Implementeringerne har bl.a. betydet, at man med udgangspunkt i de strækningsbaserede modeller forsøger at anvende de geografiske informationssystemers muligheder for rumlige analyser. De rumlige analyser bruges dog ikke til selve modelleringen af konsekvenserne, men anvendes først og fremmest til at modellere og vurdere virkningen (eller effekten) af de konsekvenser trafikken skaber.

Man skal dog være særligt opmærksom på, at man ved at implementere strækningsbaserede modeller i GIS, risikere at fjerne modellen så langt fra dens forudsætninger, at det kan lede til overfortolkninger idet modellen dermed strejkes ud over sit anvendelsesområde.

¹⁷ Normalt er det primært fodgængere der antages at have et krydsningsbehov, men også cyklister kan inddrages.

Et eksempel der tangere denne problemstilling er Middelfartprojektet gennemgået i afsnit 4.2.1 og i kapitel 6 vil denne problemstilling blive yderligere behandlet.

Samtidig giver denne problemstilling anledning til at overveje om potentialet ved anvendelse af GIS bliver udnyttet fuldt ud ved kun at modificere eksisterende strækningsbaserede konsekvensmodeller. Spørgsmålet er, om brugen af geografiske informationssystemer vil give mulighed for at anvende andre og evt. nye typer af konsekvensberegninger end dem man traditionelt har anvendt i trafikplanprocessen. Eksempler på en sådan ny type af konsekvensberegninger kunne være modeller til kvantificering af f.eks. trafikale tilgængelighed eller mobilitet.

I det efterfølgende kapitel 5 vil et teoretisk grundlag for tilgængelighed og til dels mobilitet blive præsenteret. Dette teoretiske grundlag bruges efterfølgende i kapitel 6 som udgangspunkt for formulering og implementering af operative modeller i et geografisk informationssystem.

5. TILGÆNGELIGHED

Formålet med dette kapitel er, at give et teoretisk grundlag til forståelse af begreberne tilgængelighed og mobilitet. I det efterfølgende kapitel 6 gives eksempler på implementering og afprøvning af forskellige tilgængelighedsmål i GIS.

5.1 INDLEDNING

“Accessibility is a slippery notion, one of those common terms witch everyone uses until faced with the problem of defining and measuring it” [P. Gould (1969)].

Det ovenstående citat illustrerer at problemer med at beskrive tilgængeligheden som begreb ikke er af nyere dato. Det har gennem de sidste 25 år været diskuteret, hvorvidt et tilgængelighedsmål ville være velegnet f.eks. til evaluering af hvordan forskellige transportstrategier påvirker forskellige brugere. En del af problemerne har været centreret omkring hvad tilgængeligheden omfattede som begreb og hvordan man skal kvantificere begrebet. Dette kapitel har således til formål at præsentere, og diskutere teorien bag begrebet tilgængelighed og metoderne til at kvantificere dette.

I forbindelse med behandlingen af tilgængeligheden kommer man ikke uden om en definition af begrebet mobilitet, idet de to begreber er nært knyttet til hinanden. Denne sammenknytning har samtidig været en medvirkende årsag til den generelle begrebsforvirring, der har præget diskussioner omhandlende tilgængelighed og mobilitet. Så selv om det er tilgængeligheden, der er i fokus, vil mobiliteten blive inddraget i det omfang, at den indgår i direkte sammenhæng med tilgængeligheden.

Kapitlet indledes med en introduktion og beskrivelse af begreberne tilgængelighed og mobilitet, efterfulgt af en klassifikation af forskellige tilgængelighedsmål. Dernæst gives en generel vejledning i opstilling af tilgængelighedsmodeller, og modeller fra tre hovedtyper af tilgængelighedsmål gennemgås.

5.2 BEGREBERNE TILGÆNGELIGHED OG MOBILITET

Tilgængelighed som begreb er baseret på den kendsgerning at al menneskelig aktivitet er underlagt en vis geografisk spredning. Det vil sige, at de aktiviteter man som individ deltager i, som oftest er spredt rundt på forskellige geografiske lokaliteter. F.eks. kan et almindelig døgn bestå af aktiviteter i boligen, på arbejdsstedet, ved detailhandel eller i forbindelse med fritidsaktiviteter.

Denne geografiske spredning resulterer således i, at et individ der ønsker at deltage i disse aktiviteter er nødsaget til rejse til de geografiske lokaliteter, hvor aktiviteterne foregår. En rejse mellem lokaliteter gennemføres ved hjælp af et transportsystem, hvor transporten kan foretages ved brug af en vilkårlig kombination af transportmidler, f.eks. biler, busser, tog, cykler eller til fods. Det er netop sammenkædningen af aktiviteterne og transportsystemet, der kendetegner tilgængeligheden.

Ud fra et planlægningssynspunkt er begrebet tilgængelighed i de fleste tilfælde defineret ud fra et ønske om at kunne måle behovsopfyldelsen af et given transportsystem. Behovet defineres i denne sammenhæng normalt til hvor godt transportsystemet opfyldte sit formål: at give individet muligheder for at deltage i aktiviteter. Det kommer f.eks. til

udtryk i nedenstående definition af tilgængeligheden [Dalvi, M. Q. (1978) og Koenig, J. G. (1980)].

Tilgængelighed beskriver den lethed, hvormed enhver arealbaseret aktivitet kan nås fra en lokalitet, ved anvendelse af et givet transportsystem¹⁸.

Når man vælger at betragte tilgængeligheden som en funktion af den geografiske spredning af menneskelig aktivitet, vil mobiliteten i denne sammenhæng defineres som det enkelte individs mulighed for at bevæge sig fra sted til sted [Morris, J. M.; Dumble, P. L. & Wigan, M. R. (1979)].

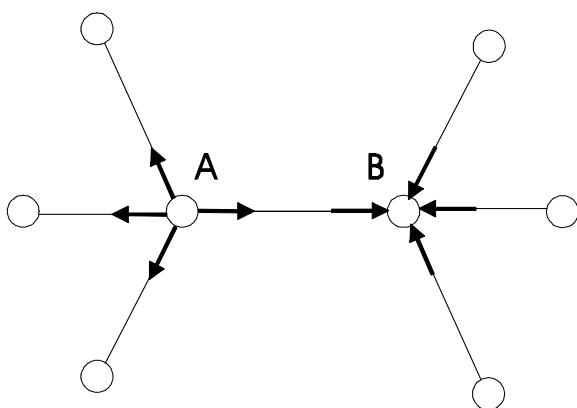
Det antydes dermed, at der eksisterer en indbyrdes afhængighed mellem tilgængeligheden og mobiliteten med transportsystemet som fællesnævner. For nemmere at kunne adskille de to begreber kan det være nyttigt, at anvende nedenstående definition af tilgængelighed og mobilitet [Heanue, K.; Menckhoff, G.; Peyrebrune, H. & Pisarski, A. (1995)].

Tilgængelighed: En attribut knyttet til en lokalitet

Mobilitet: En attribut knyttet til individet

Tilgængeligheden er altså knyttet direkte til en geografisk lokalitet (hvor der kan foregå en eller flere aktiviteter), mens mobiliteten er knyttet til det enkelte individ og kan således variere, alt efter hvor individet befinder sig. Grafisk kan det illustreres som vist på Figur 33.

Figur 33. Grafisk fremstilling af begreberne tilgængelighed og mobilitet. Mobiliteten for et individ i lokaliteten (A) vil afhænge af de muligheder transportsystemet giver for at rejse til andre lokaliteter, mens tilgængeligheden til aktiviteterne i lokaliteten (B) afhænger af de muligheder som transportsystemet giver for at rejse til lokaliteten. [Frit efter Erlandsson, U. (1995)].



Det ses, at begreberne tilgængelighed og mobilitet er beslægtede, men ikke ombyttelige. Det anskueliggøres samtidig, hvorfor de to begreber så ofte bliver blandet sammen.

Definitionen foreslået af Dalvi kan, med udgangspunkt i definitionerne givet af Morris et al., udvides til også at omfatte mobiliteten.

Tilgængeligheden beskriver den lethed, hvormed enhver arealbaseret aktivitet kan nås fra en lokalitet, ved anvendelse af et givet transportsystem.

Mobilitet beskriver den lethed, hvormed et individ kan bevæge sig bort fra en given lokalitet, ved anvendelse af et givet transportsystem.

¹⁸ Læg mærke til at der i følge definitionen anvendes et transportsystem, ikke et transportmiddel.

En medvirkende årsag til den generelle begrebsforvirring ligger i, at det er en *kombination* af mobilitet og tilgængelighed, der er afgørende for hvordan individet bevæger sig rumligt¹⁹ og dermed deltager i forskellige aktiviteter.

Der opstår altså et problem i forhold til definitionerne, når man begynder at tale om tilgængelighed for det enkelte individ. I visse dele af litteraturen [Burns, L. D. (1979)] bruges desværre benævnelsen *tilgængelighed*, for et mål bestående af en kombination af tilgængelighed og mobilitet. Det har f.eks. udmøntet sig i den definition som foreslås af [Wood, S.; Copley, G. & Foy, S. (1994)].

Tilgængeligheden er givet ved den mulighed, som et individ eller en gruppe af individer besidder for at deltage i udvalgte aktiviteter eller sæt af aktiviteter.

Derved får man ganske vist et udtryk for *individets* mulighed for at udfolde sine ønskede aktiviteter, men dette mål stemmer ikke overens med definitionen på tilgængelighed som den er givet af f.eks. Dalvi og Morris et al. For ikke at få inkonsekvens i begreberne bør man i stedet benævne et mål for individets muligheder for at deltage i aktiviteter som et *potentiale*.

Potentialet beskriver individets muligheder for at deltage i aktiviteter.

Potentialet kan således beskrives som en funktion af tilgængeligheden (T) og mobiliteten (M) som angivet i Ligning 6.

Ligning 6 $Potentialet = f(T, M)$

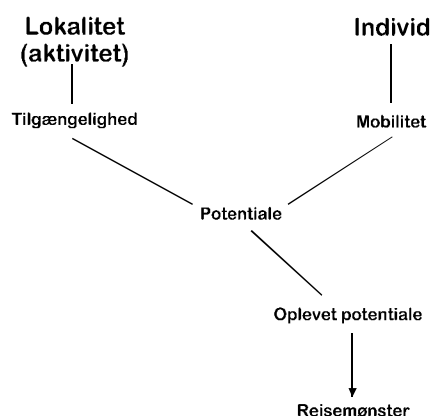
Det er dog vigtigt at erkende, at det i sidste ende er individets oplevelse af tilgængelighed og mobilitet, der er afgørende for individets rejsemønster. Man kan således tale om et *oplevet (subjektiv) potentiale*, der dækker over, hvordan det enkelte individ opfatter sine muligheder for at deltage i aktiviteter. Det oplevede potentiale kan, med udgangspunkt i definitionen for det "objektive" potentiale, og i overensstemmelse med definitionen givet af [Wood, S.; Copley, G. & Foy, S. (1994)], defineres således:

Det oplevede potentiale beskriver individets opfattelse af mulighederne for at deltage i udvalgte aktiviteter.

Grafisk kan sammenhængen mellem begreberne tilgængelighed, mobilitet og potentialerne illustreres som vist på Figur 34. Bemærk, at det oplevede potentiale har *indflydelse* på rejsemønsteret, men det er på ingen måde det eneste, der influerer rejsemønsteret.

¹⁹ En rumlig bevægelse betyder normalt en bevægelse i tre dimensioner, men i forbindelse med tilgængelighed vil det normale være at betragte bevægelserne som foregående i planen.

Figur 34. Grafisk fremstilling af sammenhængen mellem begreberne tilgængelighed, mobilitet og potentiale. Bemærk at det er det oplevede potentiale der har indflydelse på rejsemønstret.



Hermed skulle et forslag til definitionen af begreberne tilgængelighed, mobilitet og potentiale være fastlagt. Begreberne vil således i det følgende blive anvendt i overensstemmelse med de nedenstående definitioner.

Tilgængeligheden beskriver den lethed, hvormed enhver arealbaseret aktivitet kan nås fra en lokalitet, ved anvendelse af et givet transportsystem.

Mobilitet beskriver den lethed, hvormed et individ kan bevæge sig bort fra en given lokalitet, ved anvendelse af et givet transportsystem.

Potentialet beskriver individets muligheder for at deltage i aktiviteter.

Det oplevede potentiale beskriver individets opfattelse af mulighederne for at deltage i udvalgte aktiviteter.

5.3 KLASSEKATION AF TILGÆNGELIGHEDSMÅL

Dette afsnit indeholder en gennemgang af, hvordan begrebet tilgængelighed traditionelt er blevet anvendt i relation til den fysiske planlægning. Denne gennemgang efterfølges af en beskrivelse og diskussion af, hvorledes mål for tilgængeligheden klassificeres. Som nævnt i indledningen, er hovedvægten lagt på beskrivelsen af tilgængeligheden, mens mobiliteten inddrages i det omfang den har direkte betydning for forståelsen af tilgængeligheden. Der indledes med en kort præsentation af den terminologi, der er anvendt i denne afhandling i forbindelse med definerings og opstilling af tilgængelighedsmål.

5.3.1 TERMINOLOGI

Ofte bliver beskrivelsen og dermed forståelsen af lidt mere abstrakte begreber forvirret af forskellige opfattelser af bestemte ord. For at mindske denne forvirring er der i denne afhandling anvendt en terminologi som beskrevet i dette afsnit. Terminologien er først og fremmest baseret på de termer, der i litteraturen oftest anvendes i forbindelse med tilgængelighed.

I forbindelse med beskrivelsen af anvendelse og klassificering af mål for tilgængelighed og mobilitet er det vigtigt at skelne mellem de 3 termer:

- Mål
- Indikator
- Model

Termen **mål** kan anvendes som en generel beskrivelse af den kvantificering man ønsker at foretage f.eks. så kan resultatet fra en tilgængelighedsmodel være et mål for tilgængeligheden. Man anvender dog også termen som en mere generel (eller ubestemt) beskrivelse af f.eks. en klasse af forskellige modeller. I afhandlingen er termen anvendt i den sidste betydning, til beskrivelse af en ubestemt mængde af modeller.

Termen **indikator** anvendes en anelse mere bredt, idet alle de forskellige modeller man kan opstille for tilgængeligheden under et kan betragtes som indikatorer for tilgængeligheden. Termen kan dog også ses anvendt mere specifikt som betegnelse for de variable, der anvendes i tilgængelighedsmodellerne, f.eks. rejsetid og rejseomkostning. I afhandlingen er brugen af termen forsøgt begrænset, da den som nævnt kan opfattes på flere niveauer.

En **model** er derimod et velkendt matematisk udtryk, bestående af en **afhængig variabel** (i dette tilfælde tilgængeligheden) og en eller flere **forklarende variable**. For at fuldende billedet skal nævnes, at til hver af de forklarende variable kan høre en eller flere **parametre**. Som et eksempel kan ses på den relativt simple tilgængelighedsmodel i Ligning 7.

$$\text{Ligning 7} \quad T = k \cdot D^a$$

hvor T er tilgængeligheden
 D er afstanden
 k og a er parametre

I dette tilfælde vil den afhængige variable (T) være udtrykt ved en forklarende variabel (D), samt de to parametre (k) og (a).

5.3.2 ANVENDELSE AF TILGÆNGELIGHEDEN SET I RELATION TIL DEN FYSISKE PLANLÆGNING.

Selve begrebet tilgængelighed kan ofte ses anvendt forholdsvis bredt, af en række forskellige faggrupper²⁰ inden for den fysiske planlægning. Oftest opfattes tilgængeligheden som et generaliseret udtryk for planlægningsmålene, men begrebet er sjældent blevet transformeret over i en praktisk anvendelig model med hvilken forskellige planforslag kunne evalueres. Tilgængelighedsmål har derfor sjældent været anvendt i beslutningsprocessen og har dermed i sidste ende haft begrænset indflydelse på de trufne beslutninger.

Det er umiddelbart svært, at give en forklaring på den manglende kvantificering af begrebet over i et generelt accepteret planlægningsmål, men typen af konsekvensmål, der traditionelt anvendes af de forskellige faggrupper har formentlig en indflydelse.

Trafikplanlæggerens udgangspunkt er som oftest en fysisk beskrivelse af transportsystemet og trafikken. Det medfører, at trafikplanlæggerne gør brug af fysiske ydelsesmål som f.eks. serviceniveau, kørselsomkostninger og tidsforbrug. Det betyder samtidig, at en kvantificering af tilgængeligheden som mål vil ske med udgangspunkt i trafikken.

På den anden side fokuserer geografer og byplanlæggere ofte på den rumlige fordeling af aktiviteter, f.eks. i form af arealanvendelsen. Dermed vil udgangspunktet for en kvantificering af tilgængeligheden snarere være aktivitetsmønstre og geografisk spredning af aktiviteter end transportsystemet.

²⁰ Disse faggrupper omfatter f.eks. bygeografer, arkitekter samt by- og trafikplanlæggere.

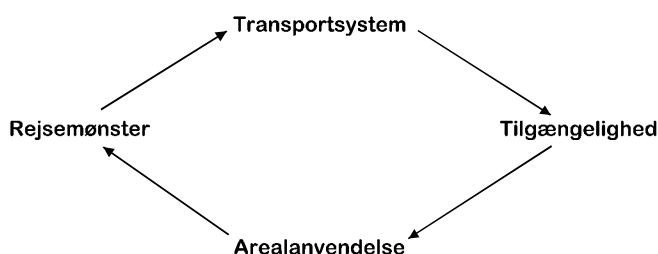
Det interessante i denne sammenhæng er, at selv om begrebet tilgængelighed tager udgangspunkt i både den geografiske spredning af de menneskelige aktiviteter *og* sammenhængen mellem disse via transportsystemet, så giver de to forskellige udgangspunkter anledning til lidt forskellige udlægninger af, hvordan tilgængeligheden indgår i den fysiske planlægning.

Som udgangspunkt vil det således være interessant, at se på hvordan begrebet tilgængelighed opfattes i forhold til arealanvendelsen og i forholdet til transportsystemet.

Tilgængelighed set i relation til arealanvendelsen

Som nævnt har geografer og byplanlæggere traditionelt opfattet tilgængeligheden som sammenhængen mellem transportsystemet og arealanvendelsen. Med det som udgangspunkt kan man opfatte rejsemønstret (trafikken) og tilgængeligheden som et udtryk for forbindelsen mellem transportsystemet og arealanvendelsen, som vist på Figur 35 [Hanson, S. et al. (1986)].

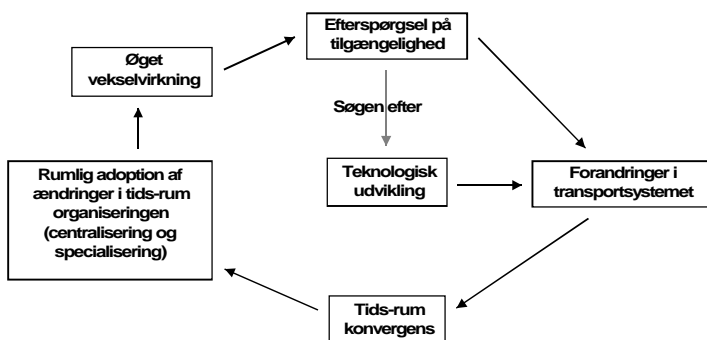
Figur 35. Et ligevægtssystem bestående af transportsystemet, tilgængeligheden, arealanvendelsen og rejsemønstret [Hanson, S. et al. (1986)].



Figur 35 er i sig selv forholdsvis simpel, men man skal alligevel lægge mærke til, at tilgængeligheden antages at indgå i et ligevægtssystem som funktion af ændringer i f.eks. arealanvendelsen. Som navnet siger, bygger ligevægtssystemet på den antagelse, at alle de indgående parametre er afhængige af hinanden, men samtidig, at der på et tidspunkt vil indtræde en ligevægt i systemet. Enhver ændring af en parameter i systemet vil dog medføre, at systemet kommer i uligevægt og de indgående parametre vil påvirke hinanden indtil en ny ligevægt indtræder.

Der findes også andre, lidt mere komplekse, måder at illustrere dette ligevægtssystem, som vist på Figur 36 [Mackiewicz, A. & Waldemar, R. (1996)].

Figur 36. Illustration af den rumlige reorganisering som konsekvens af forbedringer i transportsystemet [Mackiewicz, A. & Waldemar, R. (1996)].



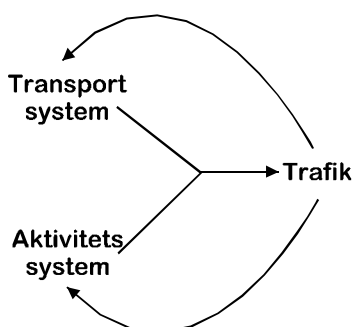
I Figur 35 indgår tiden implicit i ligevægtssystemet, mens den temporale indvirkning er tydeligere på Figur 36. På trods af, at det normalt ikke er transportsystemet, der er i fokus

for denne type systembetragtninger er f.eks. trafikmodelleringsystemet MEPLAN bygget op over et sådan ligevægtssystem [Bertuglia, C. S.; Clarke, G. P. & Wilson, A. G. (1994) og Simmonds, D. C. & Hunt, J. D. (1993)].

Tilgængelighed og mobilitet set i relation til transportsystemet

Det er vigtigt at erkende, at den fremstilling af sammenhængen mellem begreberne som fremlægges i afsnit 5.2, ikke tager højde for de afhængigheder, der eksisterer i et transportsystem. Disse afhængigheder (ofte i form af korrelationer) er temmelig komplekse og i høj grad specifikke for den kontekst de betragtes i [Rehfeld, C. (1995)]. En simpel model til visualisering af afhængighederne i forbindelse med trafikplanlægningen kan ses på Figur 37 [Manheim, M. (1979)].

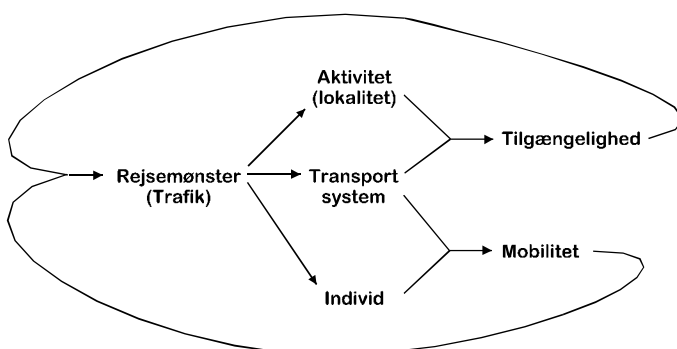
Figur 37. Simpel grafiske fremstilling af afhængighederne i et transportsystem [Manheim, M. (1979)].



Denne måde at illustrere transportsystemet stemmer overens med den systemopfattelse, man bl.a. anvender i forbindelse med trafikmodeller. I Figur 37 dækker aktivitetssystemet over såvel tilgængeligheden som mobiliteten og individet opfattes som en indirekte påvirkning af aktivitetssystemet.

Det vil sige, at hvis man ønsker at betragte begreberne tilgængelighed og mobilitet i relation til transportsystemet så kan man udvide kompleksiteten af Figur 37 ved at inddrage individet, som det er vist på Figur 38.

Figur 38. Simpel illustration af sammenhængen mellem tilgængeligheden, mobiliteten og transportsystemet.



Figur 38 er interessant forstået på den måde, at afhængighederne kan opfattes såvel kvantitativt som kvalitativt. På det kvantitative niveau illustreres den forventede sammenhæng mellem transportsystemet og de forskellige deskriptive modeller.

På det kvalitative niveau beskriver figuren individets opfattelse af mulighederne for at deltage i aktiviteter og sammenhængen mellem dette valg og transportsystemet. På dette niveau, vil forbindelsen mellem rejsemønstret (trafikken) og individet således påvirke den opfattelse (perception), som individet har af sin mobilitet, f.eks. baseret på kendskab til forbindelsen mellem rejsemønstret og transportsystemet i form af muligheder for skift af transportmiddel og steder i transportsystemet hvor der kan opstå forsinkelser.

Sammenhængene i Figur 38 antages på samme måde som Figur 35 og Figur 36 at indgå i et ligevægtssystem, og opfattelsen af hvordan tilgængeligheden indgår i forhold til transportsystemet på de forskellige figurer er ikke så forskellig.

Der er dog en interessant forskel, nemlig den måde hvorpå tidshorizonten i de forskellige ligevægtssystemer tolkes af de forskellige planlæggere. Trafikplanlæggerens hovedinteresse er trafikken, som er et meget dynamisk fænomen, hvor der sker ændringer fra time til time, og sommetider fra minut til minut. I modsætning hertil er udgangspunktet for geografer og til dels byplanlæggere arealanvendelsen, hvor dynamikken normalt opererer med tidshorisonter på måneder, år og årtier.

Denne forskel i opfattelsen af tidshorizonten for tilgængelighedsmål er formentlig en medvirkende årsag til de lidt forskellige opfattelser af begrebet tilgængelighed, som de respektive planlæggere anvender.

Tilgængelighed og mobilitet set i relation til trafikmodeller

Da trafikken i form af det faktiske rejsemønster indgår i Figur 38 vil det være nærliggende at anvende tilgængeligheds- og mobilitetsmodeller som en hel eller delvis erstatning for de traditionelle trafikmodeller ud fra en betragtning om, at de beskriver de samme forhold. Det er imidlertid ikke helt rigtigt, for godt nok anvender de to modeltyper næsten samme datagrundlag, men der er nogle fundamentale forskelle på selve formålet med de to modeltyper.

Trafikmodeller har først og fremmest til formål at beskrive, hvordan trafikken fordeler sig i transportsystemet og har således en ren fysisk deskriptiv betydning. I modsætning hertil, er udgangspunktet for tilgængelighed og mobilitet en beskrivelse af muligheden (eller potentialet) for udfoldelse af menneskelig aktivitet. Modeller for tilgængelighed og mobilitet forventes således ikke at beskrive, hvordan trafikken fysisk fordeler sig i transportsystemet men derimod hvilke muligheder transportsystemet giver individet.

Forskellene mellem trafik- og tilgængelighedsmodellerne kan også illustreres som vist i Tabel 3 [Ulsted, A. (1995)].

Tabel 3. Sammenligning af henholdsvis trafik- og tilgængelighedsmodeller [Ulsted, A. (1995)].

	<i>Trafikmodeller</i>	<i>Tilgængelighedsmodeller</i>
<i>Formål</i>	Forudsigelse af trafikefterspørgslen	Rumlig repræsentation af transportudbudet
<i>Model resultater</i>	Intensiteten af trafikken på strækninger	Værdi for knuders sammenhæng til og via transportnetværket
<i>Planlægnings Anbefalinger</i>	Den nødvendige kapacitet på strækningerne	Den optimale placering af nye trafikknuder
<i>Mål</i>	Maksimere effektiviteten i netværket Tilfredsstille trafikefterspørgslen	Lokalisere udviklingsmuligheder

<i>Mål af benefiits</i>	Tidsbesparelser, miljøbelastning, sikkerhed	Forbindelsestid til og via netværket Sammenhæng med rumlige udviklingsstrategier
<i>Fordele i forhold til trafikplanprocessen</i>	Kortsigtet Styring af trafikudbudet Funktionelle konsekvenser	Langsigtet Sammenhængen i netværksudbudet Lokale og regionale konsekvenser

Tabel 3 kan kort opsummeres i følgende definition:

Trafikmodeller har til formål at beskrive trafikken og hvordan den fordeler sig i et transportsystem.

Modeller for tilgængelighed og mobilitet har til formål af beskrive individets muligheder for at deltage i aktiviteter (individets potentiale) og dermed implicit hvordan transportsystemet opfylder sit formål.

Det betyder altså, at modeller for tilgængelighed og mobilitet ikke skal ses som en erstatning for trafikmodellerne men som et planlægningsværktøj til vurdering af transportsystemet.

Tilgængelighed og mobilitet set i relation til den multimodale trafikplanproces

Dette afsnit har til formål at relatere tilgængelighed og mobilitet i forhold til den multimodal trafikplanproces.

Opstillingen af modeller for tilgængelighed og mobilitet ligger normalt på grænsen mellem at være egentlige matematiske modeller og mere empirisk baserede beskrivelser. På den ene side ønsker man tilgængeligheden kvantificeret ved en række fysiske størrelser, men på den anden side ønsker man samtidig, at denne kvantificering skal afspejle de faktiske forhold, der ligger til grund for individets opfattelse af sin tilgængelighed og mobilitet. I forbindelse med evalueringen af infrastrukturprojekter er man begyndt at se tilgængelighed og mobilitet som en kvantificering af en positiv konsekvens ved et givet transportsystem. Dermed har modelleringen af tilgængelighed og mobilitet bevæget sig over mod den del af konsekvensberegningerne i trafikplanprocessen, der drejer sig om kvantificerbare indgangsparametre til beslutningsstøtten. Desværre har anvendelsen hidtil været begrænset, først og fremmest fordi, at begreberne til beskrivelse af denne type effekter har savnet konsistente og systematiske definitioner og dermed ikke mindst anvendelige modelleringsværktøjer.

Introduktionen af GIS inden for trafikplanlægningen har imidlertid givet fornyet interesse for såvel tilgængeligheds- som mobilitetsbegreberne, og der er i øjeblikket international bevågenhed m.h.t. deres anvendelse inden for den strategiske trafikplanlægning²¹.

Det diskuteres ofte, om ikke de tidsbesparelser, der normalt indgår i en projektevaluering, er et udtryk for forbedringen i opfyldelsen af transportbehovet. Imidlertid er det i denne sammenhæng vigtigt, at holde sig forskellen mellem trafikmodellerne og tilgængelighedsmodeller for øje. Denne forskel blev defineret i det forgående afsnit.

De tidsbesparelser der anvendes i projektevalueringen findes normalt ved brug af en trafikmodel. Det vil sige, at tidsbesparelsen direkte afspejler den ændring som trafikken og trafikens fordeling i transportsystemet giver anledning til. Mindsker man ved projektet f.eks. gennemkørselstiden for en strækning med 3 minutter og strækningen ifølge trafik-

²¹ Se bl.a. [APAS/ROAD/3 (1995)], [Chatelus, G. & Uljed, A. (1995)], [Landsplanafdelingen (1996)] og [EUNET (1997)].

modellen anvendes af 10.000 mennesker, så bliver den samlede rejsetidsbesparelse på 30.000 minutter. Der er altså tale om en værdi, der hidrører fra selve *brugen* af transportsystemet.

Imidlertid vil man i forbindelse med evalueringen af projekter i trafikplanprocessen være interesseret i den totale værdi som et projekt vil have. Denne værdi kan opgøres som bestående af to bidrag som vist i Ligning 8 [Pearce, D. W. & Turner, R. K. (1990)].

$$\text{Ligning 8} \quad \text{Total user value} = \text{Actual use value} + \text{Option value}$$

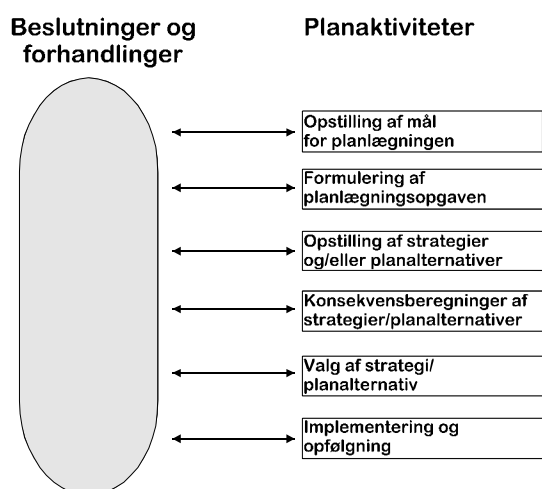
Rejsetidsbesparelsen er altså en værdi, som hidrører fra selve brugen af transportsystemet (*Actual use value*), mens modeller til beskrivelse af tilgængelighed og mobilitet, ifølge definitionen, beskriver *muligheden* for at anvende transportsystemet og dermed er en potentiel værdi (*Option value*). Det betyder altså, at modeller for tilgængelighed og mobilitet ikke skal ses som en erstatning for en anvendelsesværdi som rejsetid og omvendt kan rejsetiden heller ikke bruges som proxy for den potentielle værdi, som modeller for tilgængelighed og mobilitet beskriver.

Forskellen på *Actual use value* og *Option value* kan yderligere understreges ved, at tilgængelighedsmodellerne ikke tager hensyn til transportsystemets kapacitet. Det betyder i evalueringssammenhæng at tilgængeligheden udtrykker en idealsituation hvor der ikke forekommer kapacitetsbegrænsning i systemet.

I forbindelse med økonomisk teori opererer man desuden med en værdisætningen af selve eksistensen (*Existence value*) af et objekt, uanset om objektet i sig selv repræsenterer en værdi for individet [Pearce, D. W. & Turner, R. K. (1990)]. Men da infrastrukturplanlægning altid har en relation til individer, er en sådan værdisætning irrelevant i denne sammenhæng.

Formålet med planlægning er at kombinere mål med midler, så en ønsket udvikling fremmes mest muligt. På denne baggrund kan man opstille en beslutningsorienteret planlægningsmodel, som vist på Figur 39 [Lahrman, H. & Leleur, S. (1994)].

Figur 39. Grafisk fremstilling af en beslutningsorienteret planlægningsmodel [Lahrman, H. & Leleur, S. (1994)]. For en nærmere diskussion af emnet se f.eks. [Lahrman, H. & Leleur, S. (1994) og Rehfeld, C. (1995)].



Tilgængeligheden og mobiliteten hører traditionelt til i den del af planaktiviteterne, der omhandler *konsekvensberegninger af strategier/planalternativer*. Konsekvensberegninger af

strategier/planalternativer dækker imidlertid temmelig bredt, hvorfor man ofte foretager en klassifikation af de forskellige konsekvenser [EUNET (1997)].

Den multimodale trafikplanproces kendetegnes ved, at transportsystemet opfattes som et hele, i stedet for den mere traditionelle opsplitning på transportmidler. Samlingen af alle transportmidler i et transportsystem er i fuld overensstemmelse med det teoretiske grundlag for tilgængeligheden og mobiliteten, som gengivet i afsnit 5.2, hvor muligheden for at bevæge sig rummeligt netop tilvejebringes af et sammenhængende transportsystem.

5.3.3 KLASSEKATION AF TILGÆNGELIGHEDSMÅL

En overordnet klassifikation (taksonomi) af tilgængelighedsmål bør naturlig nok tage sit udgangspunkt der, hvor modellerne adskiller sig mest. Det er imidlertid ikke nemt at foretage en entydig klassifikation af tilgængelighedsmodeller, idet de forskellige indikatorer, der anvendes i modellerne ofte inkluderer karakteristika, som er fælles for forskellige typer af tilgængelighedsmål [Izquierdo, R. & Monzon, A. (1992)]. Det er således et spørgsmål, om man skal klassificere efter tilgængelighedsmålets funktionelle eller strukturelle form.

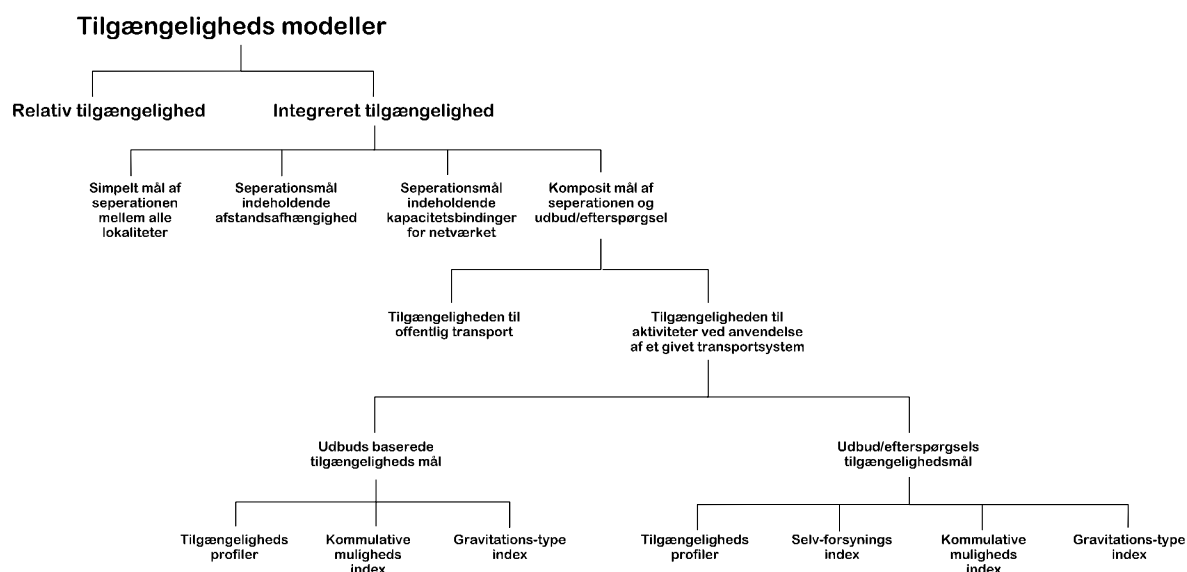
Funktionel klassifikation

En funktionel klassifikation af tilgængelighedsmål tager sit udgangspunkt i den måde, hvorpå modellen måler den rumlige separation mellem de forskellige lokaliteter. [Morris, J. M.; Dumble, P. L. & Wigan, M. R. (1979)] har taget dette udgangspunkt og skelner mellem:

- Relativ tilgængelighed (Relative Accessibility)
- Integreret tilgængelighed (Integral Accessibility)

Den relative tilgængelighed beskriver relationen, eller graden af forbindelse, mellem ethvert par af lokaliteter, mens den integrerede tilgængelighed beskriver relationen mellem en lokalitet og alle andre lokaliteter, som kan nås via transportsystemet [Morris, J. M.; Dumble, P. L. & Wigan, M. R. (1979)]. De integrerede tilgængelighedsmodeller er desuden under inddelt i en række forskellige typer af modeller (og mål), som vist i Figur 40.

Figur 40. Forslag til en funktionel klassifikation af tilgængelighedsmodeller [Morris, J. M.; Dumble, P. L. & Wigan, M. R. (1979)].



På det første niveau klassificeres efter måden hvorpå modstanden i netværket modelleres og det andet niveau er klassificeret efter tilgængeligheden til- og via transportsystemet. I det tredje niveau klassificeres efter om tilgængeligheden er baseret på aktion eller interaktion og endelig indeholder det fjerde niveau de forskellige tilgængelighedsmodeller.

En anden mulighed for en funktionel klassifikation af tilgængeligheds mål er at tage udgangspunkt i den planlægningskontekst som tilgængeligheds målet anvendes i. Et eksempel på en sådan klassifikation kan ses i Tabel 4 [Ulsted, A. (1995)].

Tabel 4. Forslag til en funktionel klassifikation af tilgængelighedsmodeller med udgangspunkt i planlægningskonteksten [Ulsted, A. (1995)].

<i>Planlægningskontekst</i>	Tilgang	Mål	Overordnet interesse
<i>Forudsigelse af Transportbehovet</i>	Funktionel tilgængelighed	Forudsigelse af trafikken i et netværk	Kortsigtet styring af transportsystemer og strategisk planlægning
<i>Forudsigelse af arealanvendelsen og transport</i>	Funktionel tilgængelighed	Modellering af sammenhængen mellem bystruktur og transportsystemet	Byplanlægning Støtte til opbygningen af trafikmodeller
<i>Makro-økonomisk</i>	Økonomisk potentiale	BNP udvikling	Gennemførelse af makro-økonomisk politik Understøttelse af andre modeller
<i>Regionale analyser</i>	Transportstøtte	Undersøgelse af betingelserne for tildeling af regional støtte	Sammenlignende analyser på et overordnet regionalt niveau
<i>Lokaliseringsanalyser</i>	Periferitet Attraktivitet Centralitet	Undersøgelse af rumlige organisations mønstre	Geografiske analyser
<i>Topologiske analyser</i>	Topologi	Beskrivelse og undersøgelse af netværksopbygningen	Langsigtet infrastruktur-planlægning
<i>Sociale analyser</i>	Social adgang Personlig adgang Symbolsk adgang	Beskrivelse af adfærd og opfattelse	Design og implementering af konkret politik

Der er selvfølgelig visse lighedspunkter mellem disse to forslag til en funktionel klassifikation, men det er især værd at lægge mærke til, at den funktionelle klassifikation giver mulighed for at anvende den samme type af modeller inden for forskellige tilgængelighedsklasser, et forhold som ikke nødvendigvis bidrager til at lette forståelsen af hvor de forskellige tilgængelighedsmodeller hører hjemme.

Strukturel klassifikation

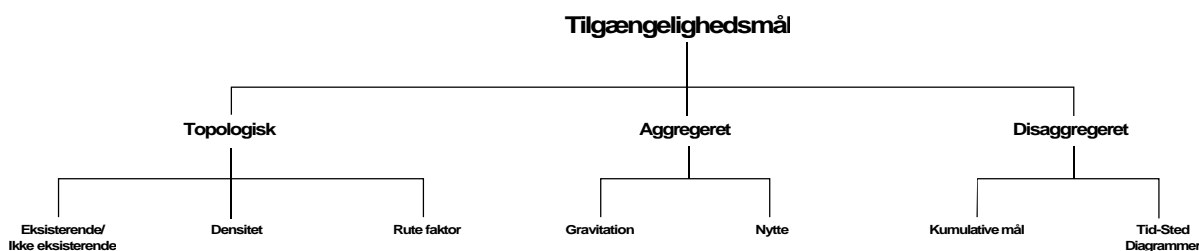
En strukturel klassifikation af tilgængelighedsmål vil naturlig nok tage sit udgangspunkt i de forskellige typer af tilgængelighedsmål, der enten anvendes, eller er foreslået anvendt.

En sådan klassifikation er f.eks. foreslået af [Handy, S. L. & Niemeier, D. A. (1995)] der klassificerer tilgængelighedsmål i 3 typer, med udgangspunkt i de typer af mål, der oftest har været anvendt:

- Kumulative mål (cumulative opportunities measures)
- Gravitationsbaserede mål (gravity based measures)
- Nytteværdibaserede mål (utility based measures)

Imidlertid bør en strukturel klassifikation ikke kun rumme de mål der anvendes oftest, men alle de typer af tilgængelighedsmodeller der eksisterer. På den baggrund har [Izquierdo, R. & Monzon, A. (1992)] foreslået en klassifikation som vist i Figur 41.

Figur 41. Forslag til klassifikation af tilgængelighedsmodeller [Izquierdo, R. & Monzon, A. (1992)].



I denne klassifikation skelner man mellem de topologiske modeller, der har deres udgangspunkt i beskrivelse af selve netværket, og de aggregerede/disaggregerede modeller, der har deres udgangspunkt i modellens aggregeringsniveau. Det ses, at de 3 mål der indgår i klassifikationen foreslået af [Handy, S. L. & Niemeier, D. A. (1995)] umiddelbart kan genfindes i klassifikationen foreslået af [Izquierdo, R. & Monzon, A. (1992)].

En vigtig detalje ved denne klassifikation er, skelnen mellem modellerne på baggrund af aggregeringsniveauet. Det forholder sig nemlig sådan, at anvendelsen af de forskellige modeltyper som oftest afhænger af det aggregeringsniveau, man vælger at arbejde på. Det vil sige, at ved at inddrage aggregeringsniveauet i den strukturelle klassifikation er det forholdsvis nemt at relatere en strukturelle klassifikation til den funktionelle. Det kommer også til udtryk ved, at de tilgængelighedsmål, som indgår i den funktionelle klassifikation foreslået af [Morris, J. M.; Dumble, P. L. & Wigan, M. R. (1979)], relativt nemt kan placeres inden for de 3 strukturelle typer af tilgængelighedsmål²².

²² De tre første mål for den integreret tilgængelighed vil kunne klassificeres som topologiske mål, mens målene for de kumulerede muligheder vil være et disaggregeret mål og de resterende mål ville falde ind under de aggregerede mål.

Valg af klassifikation

Som tidligere nævnt har tilgængelighedsmål hovedsageligt indgået i trafikplanprocessen i forbindelse med planlægningen af infrastrukturinvesteringer og til dels i forbindelse med evalueringen af infrastrukturændringer. Da infrastrukturinvesteringer oftest klassificeres i forhold til størrelsesorden²³ af projektet [APAS/ROAD/3 (1995)], vil det være naturligt, at anvende en tilsvarende klassifikation af tilgængelighedsmål. Samtidig bør en klassifikation være så konsistent, at den samme type model ikke kan optræde inden for flere forskellige klasser.

På den baggrund må en strukturel klassifikation som foreslået af [Izquierdo, R. & Monzon, A. (1992)] antages at være mest anvendelige.

I de efterfølgende kapitler vil der blive givet eksempler på nogle af de forskellige modeltyper der forekommer indenfor hver af de 3 overordnede typer af tilgængelighedsmål som er foreslået af [Izquierdo, R. & Monzon, A. (1992)].

5.4 OPSTILLING AF MODELLER FOR TILGÆNGELIGHED

Inden gennemgangen af nogle af de karakteristiske modeller indenfor de tre tilgængelighedsklasser, vil der i dette afsnit blive diskuteret, hvilke krav man skal stille i forbindelse med opstilling af modeller for tilgængeligheden, hvad der influerer på tilgængeligheden og hvordan de variable, der beskriver tilgængeligheden vælges.

Tilgængelighedsmål har traditionelt haft sin anvendelse som et evalueringskriterium, idet tilgængeligheden kan betragtes som en kraftig indikator for, hvor godt det aktuelle transportsystem opfylder det enkelte individs behov. Denne anvendelse bygger først og fremmest på en antagelse om, at tilgængeligheden kan betragtes som en funktion af såvel arealanvendelsen som virkningsgraden af transportsystemet [Morris, J. M.; Dumble, P. L. & Wigan, M. R. (1979)].

Ud over at virke som et mål for nytten af det aktuelle transportsystem kan et tilgængelighedsmål også anvendes til planlægning af strategier for transportsystemet. Ved anvendelse af tilgængelighedsmål har man således mulighed for at foretage en evaluering af, hvordan forskellige alternativer og transportstrategier vil påvirke forskellige individer eller grupper af individer [Black, J. & Conroy, M. (1977) og Morris, J. M.; Dumble, P. L. & Wigan, M. R. (1979)].

Dette har resulteret i, at modeller for tilgængeligheden har fundet anvendelse inden for flere forskellige fagområder, hvor tilgængeligheden indgår f.eks. planlægningsmyndigheder, geografer, byplanlæggere og trafikplanlæggere. Disse faggrupper har alle et fælles behov for et mål til sammenligning af alternative planforslag, opgøre konsekvenserne af enkelte alternativer og vise resultatet på en måde som er forståelig for beslutningstageren.

5.4.1 KRAV TIL EN TILGÆNGELIGHEDSMODEL

I forbindelse med opstilling af krav til en tilgængelighedsmodel rejser der sig nogle interessante spørgsmål, vedrørende f.eks. simpliciteten af modellerne. Kan f.eks. en simpel model kan være lige så, eller mere, effektiv end en mere sofistikeret til at vurdere transportsystemet eller er det rentabelt at anvende en mere kvalitativ tilgang til tilgængeligheden,

²³ Svarende til aggregeringsniveauet.

hvis kvantitative mål ikke ser ud til at være tilstrækkelige [Handy, S. L. & Niemeier, D. A. (1995)].

Man kan vælge at opstille 4 generelle retningslinier for udformningen af tilgængelighedsmodeller, som skal anvende til evaluering [Morris, J. M.; Dumble, P. L. & Wigan, M. R. (1979)].

- Tilgængelighedsmodellen skal inkorporere et element af rumlig adskillelse og respondere på ændringer i transportsystemets ydeevne.
- Tilgængelighedsmodellen skal under en eller anden form afspejle den observerede adfærd i transportsystemet.
- Det skal være teknisk muligt at indsamle data for de forklarende variable og modellen skal være operationel simpel.
- Tilgængelighedsmodellen skal være nem at forstå og tolke og skal helst være forståelig for lægmand.

Eftersom tilgængeligheden er defineret som sammenhængen mellem den geografiske spredning af aktiviteter og transportsystemet er det naturligt, at tilgængelighedsmodellen inkorporerer et vist element af rumlig adskillelse, som responderer på ændringer i transportsystemets ydeevne.

Årsagen til at tilgængelighedsmalet skal afspejle den observerede adfærd er måske knap så klar, men en del af baggrunden for tilgængelighedsmodellerne²⁴ var et ønske om at beskrive, hvor godt transportsystemet opfylder sit formål, nemlig at give individet mulighed for at deltage i udvalgte aktiviteter. Derigennem skulle et tilgængelighedsmaal til en vis grad afspejle den adfærd, man kan betragte i transportsystemet. Man skal dog være opmærksom på, at den observerede adfærd er en respons på et sæt af givne omstændigheder og dermed kun angiver et enkelt punkt på en udbuds/efterspørgsels kurve, med ukendt form.

Det må anses at være et rimeligt krav, at det skal være teknisk muligt at indsamle data for de forskellige indikatorer, der indgår i et tilgængelighedsmaal. Nyttens af et tilgængelighedsmaal, hvor godt det end måtte være teoretisk, må siges at være forholdsvis begrænset, hvis det ikke er muligt at indsamle de nødvendige data. I værste fald kan et sådan mål lede til mistolkninger og forkerte konklusioner, fordi man risikerer at målet anvendes uden at forudsætningerne er opfyldt.

Kravet om at tilgængelighedsmodellen skal være umiddelbart forståeligt hænger i høj grad sammen med muligheden for at anvende tilgængeligheden i den fysiske planlægning. Planlægger og beslutningstager vil være mere tilbøjelige til at anvende en tilgængelighedsmodel, som ikke bare de selv forstår, men som de også kan gøre forståeligt overfor andre.

De første to retningslinier relaterer sig først og fremmest til modellens strukturelle form, mens den to sidste mere relaterer sig til den funktionelle form.

Man kan på den baggrund opdele de fleste tilgængelighedsmodeller i to elementer [Handy, S. L. & Niemeier, D. A. (1995)]²⁵:

²⁴ Se afsnit 5.2 *Begreberne tilgængelighed og mobilitet*

²⁵ Denne definition stemmer desuden overens med den definition af begrebet, som er givet tidligere i afsnit 5.2 "*Begreberne tilgængelighed og mobilitet*".

- Et transport element. Dette element kan også betragtes som et modstands element og bestemmes i høj grad af kvaliteten af transportsystemet.
- Et aktivitets element. Dette element kan også betragtes som et motivations eller attraktions element og bestemmes af aktivitet i den enkelte lokalitet.

Tilgængelighedsmodeller har derfor ofte et generaliseret udsende som vist i Ligning 9.

Ligning 9 $Tilgængeligheden = f(T,A)$

hvor T er transportelementet

A er aktivitetselementet

Hver af de to elementer kan beskrives ved en lang række af variable og det følgende afsnit vil angive en systematisk tilgang til udvælgelse af disse.

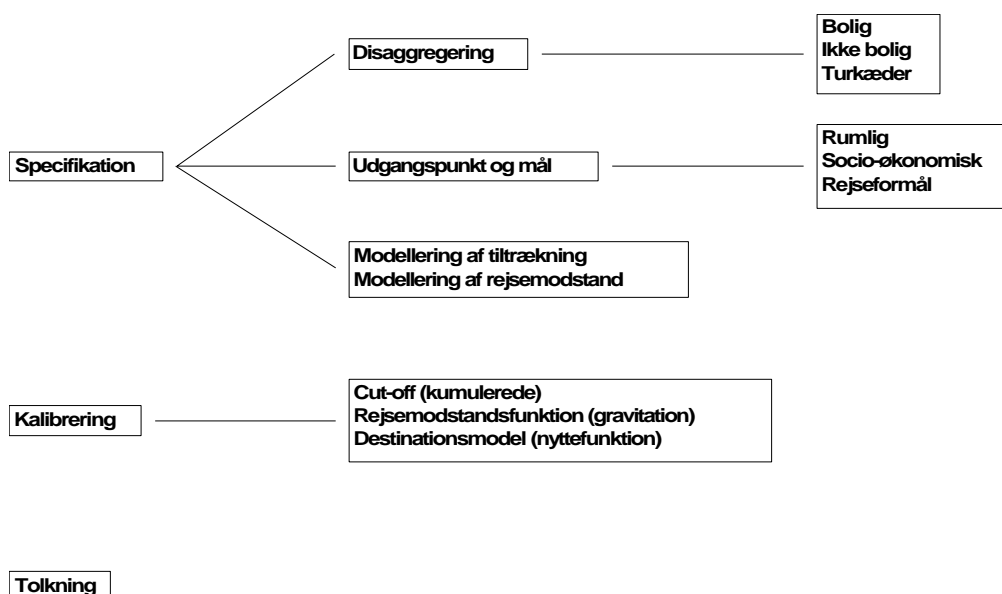
5.4.2 OPSTILLING AF TILGÆNGELIGHEDSMODELLER

I forbindelse med opstillingen af tilgængelighedsmodeller er det klart, at jo bedre de beskrivende variable i modellen er indikatorer for tilgængeligheden, jo bedre må modellen forventes at beskrive tilgængeligheden. Det er derfor, som for opstillingen af alle andre typer af modeller, vigtig at finde de mest signifikante variable. For at sikre dette kan man vælge at betragte opstillingen af tilgængelighedsmodeller som en 3-trins proces [Handy, S. L. & Niemeier, D. A. (1995)], bestående af:

- Specifikation
- Kalibrering
- Tolkning

For at lette opstillingen af modellerne, kan opstilles en række forhold, som alle kan have indflydelse på valget af variable, mere eller mindre uafhængigt af hvilken type af tilgængelighedsmål, der vælges. Disse forhold, og deres indbyrdes afhængighed er vist på Figur 42.

Figur 42. Skematisk fremgangsmåde til opbygning af tilgængelighedsmodeller [Handy, S. L. & Niemeier, D. A. (1995)].



De 3 trin i opstillingen af tilgængelighedsmodeller danner udgangspunktet for den videre gennemgang.

Specifikation

Uanset hvilken type af tilgængelighedsmål man anvender, er der en række forbundne forhold, som man må tage stilling til i forbindelse med specifikationen af tilgængelighedsmodellen [Handy, S. L. & Niemeier, D. A. (1995)]:

- Disaggregering
- Definition af udgangspunkt og mål
- Modelleringen af tiltrækningen (attraktionen)
- Rejsemodstanden

Fælles for alle forholdene er, at de er meget afhængige af den kontekst de anvendes i. Det vil sige, at først og fremmest undersøgelsens formål og indhold har betydning for hvordan disse forhold skal modelleres.

Disaggregering

Aggregeringsniveauet, i form af disaggregering, er særlig interessant, især da det ligger til grund for klassificeringen af de forskellige tilgængelighedsmodeller. Først og fremmest afhænger valget af aggregeringsniveau af den planlægningskontekst, som tilgængelighedsmålet skal indgå i.

Man kan tale om 3 forskellige former for aggregeringsniveauer, der bør tages stilling til, inden der vælges et tilgængelighedsmål.

- Rumlig
- Socio- økonomisk
- Rejseformål

Da udgangspunktet for tilgængeligheden er den rummelige spredning af aktiviteter, er det rumlige aggregeringsniveau naturlig nok det mest fundamentale. Ved en måling af tilgængeligheden på f.eks. zoneniveau er der, mere eller mindre bevidst, foretaget en gruppering af individer og husstande ofte udelukkende på baggrund af deres geografiske nærhed. Jo større zoner, jo større aggregering. Til en vis grad afhænger det rumlige aggregeringsniveau af den geografiske skala for det aktuelle projekt. F.eks. har det ikke umiddelbart nogen mening, at betragte tilgængeligheden på lokalt niveau, når man ønsker at evaluere infrastrukturinvesteringer på europæisk niveau og omvendt er tilgængeligheden mellem hovedstæderne i Europa knap så relevant i forbindelse med investeringer på lokalt niveau i Danmark.

Den socioøkonomiske disaggregering tager udgangspunkt i det forhold, at forskellige dele af befolkningen interessere sig for at deltage i forskellige aktiviteter (eller kombinationer af aktiviteter) og dermed måler modstande og attraktion forskelligt. Den socioøkonomiske disaggregering kommer oftest til udtryk i forbindelse med inddeling i zoner, hvor man anvender en opdeling efter indkomst eller arbejde, som man f.eks. kender det fra trafikmodellerne. Netop den socioøkonomiske disaggregering rejser dog en række etiske og juridiske spørgsmål med hensyn til hvor disaggregerede data man kan og må anvende.

Rejseformålet eller typen af aktiviteter, som individet ønsker at deltage i, giver også mulighed for aggregering. På et forholdsvist aggregeret niveau er det normalt at anvende f.eks. antallet af arbejdspladser som mål for aktiviteten, men man kan disaggregere til et vilkårlig niveau, f.eks. hvis man ønsker at undersøge tilgængeligheden til svømmehaller, skoler eller ligende. En sådan disaggregering vil først og fremmest afhænge af formålet med undersøgelsen og ikke mindst de tilgængelige data.

Definition af udgangspunkt og mål

I forbindelse med tilgængelighedsmodeller er målet den geografiske lokalitet, som man ønsker at bestemme tilgængeligheden for. Ifølge definitionen er tilgængeligheden kendetegnet ved ikke at have et udgangspunkt, hvilket betyder, at man ikke skal se definitionen af udgangspunktet og målet bogstaveligt, men som en klassifikation af rejsetypen. [Handy, S. L. & Niemeier, D. A. (1995)] har dog valgt at skelne mellem 3 forskellige former for rejsetyper baseret på turformålet.

- Boligbaseret
- Ikke boligbaseret
- Turkæder

Modelleringen af tiltrækningen (attraktionen) til lokaliteten

Fastlæggelsen af attraktionen af en lokalitet afhænger primært af to forhold, nemlig undersøgelsens formål og de aktiviteter, der er placeret i lokaliteten. Vægtningen af attraktionen af de forskellige aktiviteter i lokaliteten kan mere eller mindre frit bestemmes i forhold til undersøgelsens formål, og attraktionen til den enkelte lokalitet kan måles på en række forskellige måder, f.eks. som antallet af virksomheder. Målet kan f.eks. være fysisk (areal eller antal ansatte) eller økonomisk (omsætning). Andre mål kunne være kvaliteten og prisen af de forskellige produkter eller kvaliteten af den service der leveres i lokaliteten. Man skal dog være opmærksom på, at sådanne mål er temmelig subjektive og kan dermed være svære at specificere og kalibrere i forbindelse med et tilgængelighedsmål.

Rejsemodstanden

Traditionelle former for rejsemodstand er tid og afstand, eller en generaliseret omkostning som funktion af tid, afstand og økonomisk omkostning. Tidligere lod man afstanden måle som fugleflugtslinie eller bestemte den ud fra geometriske forudsætninger om transportsystemets opbygning [Burns, L. D. (1979)], men i dag findes afstanden som oftest direkte ved modellering gennem et netværk. I forbindelse med anvendelsen af geografiske informationssystemer vil alt andet end en modellering af afstanden gennem nettet være utænkeligt. Tidsforbruget kan tilsvarende findes på en række forskellige metoder, f.eks. som feltmålinger af faktisk rejsetid, undersøgelser af oplevet rejsetid, eller som det faktiske tidsforbrug. Rejsetiden kan i visse tilfælde bruges som proxy for afstanden, og det antages normalt, at en generaliseret omkostningsfunktion der, indeholder både tid og afstand skulle give det bedste resultat set i relation til tilgængelighedsmålet [Handy, S. L. & Niemeier, D. A. (1995)].

Forskelle i tid og afstand kan også afhænge af transportmidlet, hvilket især er interessant i forbindelse med multimodale undersøgelser. De færreste undersøgelser tager dog udgangspunkt i kombinationen af transportmiddel og lokalitet.

Kalibrering

I de tilfælde, hvor man anvender en tilgængelighedsmodel med et målbart fysisk forhold, der afspejler individets præferencer, har man mulighed for at foretage en kalibrering for at opnå størst mulig overensstemmelse mellem model og observationer.

Kalibreringen vil således medvirke til, at tilgængeligheds målet reflekterer, hvordan de enkelte individer og husholdninger oplever de lokaliteter, der er tilgængelige for dem. Det vil sige, at kalibreringen er medvirkende til at tilnærme den modellerede tilgængelighed til den oplevede (se afsnit 5.2).

Hvad man kalibrerer og hvordan man gør det afhænger først og fremmest af hvilken type af tilgængeligheds mål man anvender.

For de kumulative mål (se afsnit 5.7.1) er det f.eks. bestemmelsen af cut-off afstanden, der er vigtig i kalibreringen. Denne kalibrering vil dog oftest blive foretaget ud fra et professionelt skøn og det er ikke umiddelbart muligt at opstille regler for valget. Man skal dog være opmærksom på, at cut-off afstanden skal afspejle det aggregeringsniveau, man har anvendt i transportnettet. Det nytter f.eks. ikke at anvende en afstand på 5 km, hvis maskeviden i transportnettet er 10 km.

For gravitationsbaserede tilgængeligheds mål skal der vælges eller estimeres parameterværdier for rejsemotstandsfunktionen, f.eks. den kalibrerede parameter fra turfordelingsmodellen.

De nyttebaserede mål er ofte kalibrerede ud fra trafikundersøgelser, hvor hver rejse karakteriserer et enkelt valg, og hvor de forklarende variable som f.eks. rejsetid og attributterne af destinationen er inkluderet i nyttefunktionen. Fordelen ved denne type mål er, at modellerne kan teste alternative formuleringer af nyttefunktionen for at finde den, der passer bedst til det faktiske rejsemønster [Handy, S. L. & Niemeier, D. A. (1995)].

Tolkning

Det sidste forhold i opstillingen af en brugbar tilgængelighedsmodel er processen med at tolke og oversætte resultaterne til en form, der er anvendelig i den politiske beslutningsproces. Et rimeligt krav vil være, at det skal være muligt at sammenligne ændringen af tilgængeligheden over tid, sted eller begge dele.

I dele af litteraturen f.eks. [Handy, S. L. & Niemeier, D. A. (1995)] angives, at i stedet for at fokusere på det totale niveau af tilgængelighed skal man fokusere på de relative niveauer af tilgængeligheden. Denne relative tilgængelighed kan defineres i forhold til en specifik zone eller en specifik husholdning. Ændringer over tiden kan også anvendes, men i det tilfælde er der ikke tale om den absolutte ændring, men den relative.

Det samme forhold gør sig gældende for de nyttebaserede mål. Den kalibrerede nyttefunktion kan ses som et udtryk for en efterspørgselskurve, for et specifikt alternativ, hvor en ændring i værdien af de indgående variable medfører en ændring i nytten. Ændringen i nytten kan dermed findes som forskellen mellem værdien af nyttefunktionen for før og efter scenariet [Handy, S. L. & Niemeier, D. A. (1995)].

Problemet med disse to tilgange er dog, at tilgængelighedsmodellen dermed kan antage et utal af varianter, afhængig af den planlægningskontekst de anvendes i og dermed de parametre der estimeres. Det betyder at man er istand til at lave relative sammenligninger,

men man kan f.eks. ikke sammenligne to forskellige projekters betydning for den overordnede eller samlede tilgængelighed.

Netop muligheden for at sammenligne den absolutte betydning af forskellige projekter kan i planlægningssammenhæng være interessant. Denne form for sammenligning kan kun foretages med et invariabelt tilgængelighedsmål, hvilket vil sige at målet ikke ændrer sig afhængig af den planlægningskontekst det anvendes i. Hvis tilgængelighedsmålet skal være invariabelt betyder det samtidig, at det ikke er nødvendigt med nogen form for kalibrering.

5.5 TOPOLOGISKE TILGÆNGELIGHEDSMÅL

Betegnelsen topologisk tilgængelighed anvendes om et tilgængelighedsmål, der er fundet ved brug af en tilgængelighedsmodel udelukkende baseret på netværkstopologien af det betragtede transportsystem [Mackiewicz, A. & Waldemar, R. (1996)]. Dermed er modeller for topologisk tilgængelighed normalt baseres på et udtryk for modstanden i det netværk, der udgør transportsystemet eller mere simpelt blot angiver tilstedeværelsen af et netværk.

Den topologiske tilgængelighed falder umiddelbart udenfor den anvendte definition af tilgængeligheden, idet der i modellerne ikke direkte indgår nogen vægtning af aktiviteten i de forskellige lokaliteter. Men for denne type mål, er det ikke aktiviteten der er i centrum, men selve adgangen til transportsystemet. Umiddelbart må anvendeligheden af de topologiske mål til beskrivelse af tilgængeligheden antages at være forholdsvis begrænset og man skal snarere se denne type mål som en simpel metode til at udregne et udtryk for "tilgængeligheden" til transportsystemet (eller netværksdensiteten) end en egentlig tilgængelighedsmodel. Det har da også medført, at især lande med en meget lav netværksdensitet er meget interesserede i at anvende denne type tilgængelighedsmål.

Imidlertid er målet let at implementere og da det kun er selve tilstedeværelsen af transportsystemet, der indgår i modellen, kræves ikke de store datamængder. Dette forhold har dog stor betydning f.eks. i forbindelse med arbejde i ulande hvor det kan være næsten umuligt at skaffe et datagrundlag på det aggregeringsniveau som kendes fra de industrialiserede lande. I ulande er tilgængelighed som oftest heller ikke kun et spørgsmål om adgang til aktiviteter via transportsystemet men i lige så høj grad et spørgsmål om adgang til et transportsystem og til den type undersøgelser egner de topologiske tilgængelighedsmål sig fint.

De topologiske modeller kan opdeles i 3 hovedgrupper efter de forskellige indikator typer, der traditionelt er anvendt [Izquierdo, R. & Monzon, A. (1992)]:

- Eksistens indikator
- Densitets indikator
- Rutefaktor

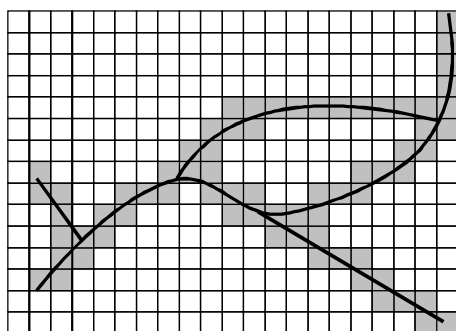
De enkelte hovedgrupperne vil kort blive behandlet i de efterfølgende afsnit.

5.5.1 EKSISTENS INDIKATOR

En eksistens indikator er et simpel mål for, om der i det hele taget eksisterer nogen tilgængelighed til et givent område. Det kan f.eks. afgøres, ved at lægge et kvadratnet (grid) over et transportsystem og identificere celler uden forbindelse til transportsystemet. Den

enkelte celler tildeles en værdi (oftest 1 eller 0) afhængig af tilstedeværelsen af transportsystemet, som illustreret på Figur 43.

Figur 43. Illustration af hvordan et eksistensmål fremtræder grafisk. De skraverede celler angiver områder med direkte adgang til transportsystemet.



Indikatoren kan relativt simpelt udvides ved at vægte forskellige transportmidler, og dermed fås en primitiv kompositfunktion for tilgængeligheden til transportsystemet. Målet kan også gradueres efter f.eks. afstanden ved at tildele celler med direkte forbindelse til transportsystemet værdien 3, den næste række celler værdien 2 og så fremdeles.

5.5.2 DENSITETS INDIKATOR

Densitets indikatoren bygger på det samme princip som eksistens indikatorerne, blot lægges der en værdi i den enkelte celle, svarende til densiteten af transportsystemet. Transportsystemet kan opfattes temmelig bredt, idet det også kan dække over f.eks. telekommunikationslinier. Der anvendes ofte en meget simpel formel som vist i Ligning 10 eller en lidt mere sofistikeret som Ligning 11, med vægtning af de forskellige transportsystemer [Izquierdo, R. & Monzon, A. (1992)].

$$\text{Ligning 10} \quad D = \frac{X}{\text{Zoneareal}}$$

$$\text{Ligning 11} \quad D = \frac{a \cdot X + b \cdot Y + c \cdot Z}{\text{Zoneareal}}$$

hvor D er densitets indikatoren (eller densitetsindekset)

X , Y og Z er afstande i det netværk der udgør transportsystemet (f.eks. vejnettet, jernbanenet og telenettet) inden for zonen

a , b og c er vægtningsfaktorer

Densitets indikatoren kan illustreres på samme måde som eksistens indikatoren på Figur 43.

5.5.3 RUTEFAKTOR

Rutefaktoren er en lidt anden type mål, idet der er tale om en indikator som skal forsøge at måle kvaliteten af en rute, f.eks. hvor tæt ruten kommer på en ret linie og dermed afgøre, om en given rute giver tilfredsstillende rejsesetider og rejse forhold [Izquierdo, R. & Monzon, A. (1992)]. Det er klart at et sådan mål vil favorisere områder, hvor de geografi-

ske forhold gør at transportsystemet kommer til at ligge fjernt fra den rette linie, f.eks. gennem bjergrige områder. Rutefaktoren kan bestemmes som vist i Ligning 12.

$$\text{Ligning 12} \quad r_{ij} = \frac{d_{ij}}{d_{gij}}$$

Hvor r_{ij} er rutefaktoren

d_{ij} er den korteste vej mellem i og j gennem netværket

d_{gij} er afstanden i en ret linie mellem i og j

Den praktiske anvendelse af denne type mål er forholdsvis begrænset og målet kan oftere ses anvendt til at fremme bestemte politiske målsætninger end egentlige planlægningsstrategier.

5.6 AGGREGERET TILGÆNGELIGHEDSMÅL

De aggregerede tilgængelighedsmål tager ikke kun deres udgangspunkt i selve netværksstrukturen (som de topologiske), men inddrager også de aktiviteter der, til en vis grad, er bestemmende for rejsemønstret.

Denne tilgang minder meget om den, der kendes fra trafikmodellerne, hvilket heller ikke er helt uden grund, idet inspirationen er hentet fra disse. Inden for de aggregerede tilgængelighedsmål opererer man ligesom indenfor trafikmodeller med en gruppe af lokaliteter (eller zoner) og disses indbyrdes afhængighed via transportsystemet.

De aggregerede tilgængelighedsmål anses normalt for at være velegnede til at illustrere kompleksiteten i transportsystemet og inkluderer sædvanligvis variable, der reflekterer individets rejsemønster, mobiliteten og overordnede socioøkonomisk forhold.

Inden for tilgængeligheden kan man skelne mellem to former for aggregeret mål, nemlig de gravitationsbaserede mål, der som navnet antyder er relateret til de traditionelle gravitationsmodeller og nyttebaserede mål, som også er relateret til gravitationsmodellen, men ud fra en nytteværdibetragtning.

5.6.1 GRAVITATIONSBASEREDE MÅL

De gravitationsbaserede tilgængelighedsmål er generelt en anelse mere avancerede end f.eks. de kumulative (se afsnit 5.7) og kaldes således fordi de er afledt fra nævneren af balanceringskonstanten for gravitationsmodellen, som den kendes fra trafikmodellerne [Gissel, S. (1996)].

Denne type mål vægter mulighederne (sædvanligvis i kvantiteten af aktivitet, som den kan måles f.eks. af antal arbejdspladser) som funktion af modstanden (generelt en kontinuert aftagende funktion af rejsetid eller rejseomkostning). Tilgængeligheden A_i i lokaliteten i kan således udtrykkes som vist i Ligning 13 [Hansen, W. G. (1959)].

$$\text{Ligning 13} \quad A_i = \sum_{j=1}^n a_j \cdot f(t_{ij})$$

hvor A_i er tilgængeligheden for lokaliteten i

a_j er aktiviteten i lokaliteten j

t_{ij} er rejsetiden, afstanden eller omkostningen ved at komme fra lokaliteten i til lokaliteten j
 $f(t_{ij})$ er modstandsfunktionen for at rejse fra lokaliteten i til lokaliteten j
 n er antallet af lokaliteter i regionen

Jo tættere lokaliteten j ligger på i , jo mere bidrager den til tilgængeligheden i lokaliteten i og jo større muligheder, der ligger i lokaliteten j (i form af aktiviteter), jo mere bidrager den til tilgængeligheden for i .

For de gravitationsbaserede tilgængelighedsmodeller kan der teoretisk vælges en vilkårlig modstandsfunktion $f(t_{ij})$, men normalt antages modstandsfunktionen at være en kontinuert aftagende funktion, enten udtrykt som en negativ eksponentialfunktion eller som en negativ potensfunktion. Anvendelsen af netop disse to typer af modstandsfunktioner hænger sammen med det teoretiske fundament for gravitationsmodellerne.

Udledningen af de gravitationsbaserede tilgængelighedsmål

Gravitationsmodeller har først og fremmest været anvendt inden for trafikmodeller og som nævnt kan der drages en direkte parallel mellem det generelle udtryk for turmatricen i den gravitationsbaserede trafikmodel og den generelle gravitationsbaserede tilgængelighedsmodel i Ligning 13.

Turmatricen i den traditionelle gravitationsbaserede trafikmodel kan udtrykkes som vist i Ligning 14 [Ortúzar, J. de D. & Willumsen, L. G. (1994)].

$$\text{Ligning 14} \quad T_{ij} = X_i O_i B_j D_j e^{-bc_{ij}}$$

hvor T_{ij} er turmatricen
 O_i er generations matrix
 D_j er attraktions matrix
 $\exp(-bc_{ij})$ er omkostningsfunktionen og b er en kalibreringsparameter
 X_i og B_j er balanceringskonstanterne i den dobbeltbegrænsede gravitationsmodel

Balanceringskonstanterne sikrer, at udbuddet og efterspørgslen i gravitationsmodellen er lige stort, således at antallet af genererede ture er det samme som antallet af attraherede ture [Gissel, S. (1996)]. Dermed undgås, at der i modellen eksisterer ture, der enten ikke har noget udgangspunkt eller noget mål. Balanceringskonstanten X_i for generationsmatricen O_i er således givet ved Ligning 15 [Gissel, S. (1996)].

$$\text{Ligning 15} \quad X_i = \frac{1}{\sum_j B_j D_j e^{-bc_{ij}}}$$

hvor notationen følger Ligning 14

Det vil sige, at formålet med X_i er, at tilpasse en stigning i antallet af ture *til* en destination ved at foretage en tilsvarende reduktion i det samlede antal af ture *fra* et udgangspunkt. Dermed kan balanceringskonstanten X_i opfattes som et invers tilgængelighedsmål [Gissel, S. (1996)] og tilgængeligheden kan udtrykkes ved Ligning 16.

$$\text{Ligning 16} \quad A_i = \sum_j B_j D_j e^{-bc_{ij}}$$

hvor A_i er tilgængeligheden i lokaliteten i
 D_j er attraktionsmatricen
 $\exp(-bc_{ij})$ er omkostningsfunktionen
 B_j er balanceringskonstanten i den dobbeltbegrænsede gravitationsmodel

Da tilgængeligheden ifølge definitionen (kapitel 5.2) kun afhænger af aktiviteten i destinationen kan den balancerede attraktionsmatrix $B_j D_j$ antages at udtrykke aktiviteten i lokaliteten og man har dermed direkte det gravitationsbaserede tilgængelighedsmål (Ligning 17), som anvendes i f.eks. [Burns, L. D. (1979) og Koenig, J. G. (1980)]. Denne type mål benævnes også som et Hansen tilgængelighedsmål eller Hansen index efter W. G. Hansens klassiske artikel fra 1959 [Hansen, W. G. (1959)].

$$\text{Ligning 17} \quad A_i = \sum_{j=1}^n a_j \cdot e^{-bc_{ij}}$$

hvor A_i er tilgængeligheden for beboerne i lokaliteten i
 a_j er aktiviteten i lokaliteten j
 $\exp(-bc_{ij})$ er modstandsfunktionen for rejsen mellem lokaliteterne i og j

Ved anvendelse af en logaritmisk omkostningsfunktion i gravitationsmodellen (Ligning 14) fås en negativ potensfunktion som modstandsfunktion [Ortúzar, J. de D. & Willumsen, L. G. (1994)]. Denne omkostningsfunktion svarer til, at individet opfatter omkostningerne "log-agtigt" i stedet for lineær [Gissel, S. (1996)]²⁶.

$$\text{Ligning 18} \quad T_{ij} = X_i O_i B_j D_j e^{-b \log c_{ij}} = X_i O_i B_j D_j c_{ij}^{-b}$$

hvor T_{ij} er turmatricen
 O_i er generationsmatricen
 D_j er attraktionsmatricen
 $\exp(-b \log c_{ij})$ er omkostningsfunktionen
 X_i og B_j er balanceringskonstanterne i den dobbeltbegrænsede gravitationsmodel

Tilsvarende omskrivningen af Ligning 14 kan fra Ligning 18 fås et gravitationsbaseret tilgængelighedsmål med en negativ potensfunktion som omkostningsfunktion (Ligning 19).

$$\text{Ligning 19} \quad A_i = \sum_{j=1}^n \frac{a_j}{c_{ij}^b} = \sum_{j=1}^n a_j \cdot c_{ij}^{-b}$$

hvor A_i er tilgængeligheden for beboerne i lokaliteten i
 a_j er aktiviteten i lokaliteten j
 c_{ij} er modstanden mellem lokaliteten i og lokaliteten j
 b er kalibreringsparameteren

²⁶ For en mere detaljeret diskussion af sammenhængen mellem opfattelsen af omkostninger og omkostningsfunktionen se [Pooler, J. (1994)].

Praktiske erfaringer med brug af trafikmodeller baseret på gravitationsformlen har vist, at for systemer med hovedsageligt korte ture syntes eksponentialfunktionen at passe bedst, mens for systemer med lange ture passer potensfunktionen bedst [Gissel, S. (1996)].

Kalibreringsparameteren b

Som det kan ses i Ligning 17 og Ligning 19 indgår der i modstandsfunktionen for tilgængeligheden parameteren b . I de gravitationsbaserede trafikmodeller er b en kalibreringsparameter, der anvendes for at få størst mulig overensstemmelse mellem den modellerede og den observerede modstand. Tilsvarende vil b i en gravitationsbaseret tilgængelighedsmodel beskrive individets opfattelse (perception) af modstandsfunktionen og b kan således opfattes som en del af forskellen mellem det målte og det oplevede potentiale, jævnfør Figur 34, side 51. b er altså en parameter, der afhænger af det aktuelle transportsystem der betragtes og skal dermed estimeres fra gang til gang. Det betyder også, at den estimerede værdi af parameteren ikke umiddelbart kan overføres fra det ene projekt til det andet²⁷.

Tilgængeligheden som mål for sammenhængen mellem transportsystemet og arealanvendelsen

Som vist på Figur 36 antages der at eksistere en dynamisk vekselvirkning mellem arealanvendelsen og transportsystemet. Denne antagelse har været udgangspunktet for en række modeller til beskrivelse af det dynamiske system, hvor vekselvirkningen mellem arealanvendelsen og transportsystemet er modelleret ved brug af begrebet tilgængelighed [Bertuglia, C. S.; Clarke, G. P. & Wilson, A. G. (1994), Simmonds, D. C. & Hunt, J. D. (1993) og De La Barra, T. (1989)].

Såvel [Bertuglia, C. S.; Clarke, G. P. & Wilson, A. G. (1994) og Simmonds, D. C. & Hunt, J. D. (1993)] som [De La Barra, T. (1989)] anvender en gravitations baseret tilgængelighedsmodel af en type som gennemgået i dette kapitel.

Det er forholdsvis klart, hvorfor denne type tilgængelighedsmodel er velegnet, idet sammenhængen med arealanvendelsen styres af attraktionen (der findes på baggrund af aktiviteterne i lokaliteten) og koblingen til trafiksystemet ligger i modstandsfunktionen.

Der er imidlertid en række teoretiske problemer ved anvendelse af de gravitationsbaserede mål, hvoraf en del allerede kendes fra trafikmodellerne, f.eks. håndtering af dimensionerne på de indgående parametre og den Newtonske analogi²⁸ [Yamashita, J. (1995)]. Eksempler på en række af disse problemer findes beskrevet i forbindelse med en praktisk implementering af et gravitationsudtryk i et geografisk informationssystem (GIS) [Reed, T. L. (1996)].

5.6.2 NYTTEBASEREDE MÅL

De nyttebaserede tilgængelighedsmål har, som navnet antyder et nytteteoretisk udgangspunkt. Mere interessant er det dog, at målet kan udledes dels på baggrund af de gravitati-

²⁷ For en praktisk gennemgang af kalibreringsparameterens betydning se f.eks. [Lindegaard, T. & Høgedal, H. J. (1997)]

²⁸ Den Newtonske analogi - individets opførsel baseres på en formel der beskriver et fysisk fænomen.

onsbaserede trafikmodeller (i dette tilfælde de gravitationsbaserede trafikmodeller med transportmiddelvalg) og dels ud fra nytteteori.

Gravitationsbaseret trafikmodel med transportmiddelvalg

Udgangspunktet for de gravitationsbaserede tilgængelighedsmål med transportmiddelvalg er en logitmodel for både turfordeling og transportmiddelvalg. Logitmodellen er en gravitationsbaseret trafikmodel med en sammensat rejsemønstersfunktion, også kaldet en kompositfunktion [Nielsen, O. A. (1994)]. Selve udledningen af logitmodellen sker ved at udvide den traditionelle gravitationsmodel med et led (Ligning 20) til beskrivelse af transportmiddelvalget [Ortúzar, J. de D. & Willumsen, L. G. (1994)].

$$\text{Ligning 20} \quad P_{ij}^1 = \frac{e^{-bC_{ij}^1}}{\sum_k e^{-bC_{ij}^k}}$$

hvor P_{ij}^1 er sandsynligheden for at vælge transportmiddel 1 mellem lokaliteterne i og j
 C_{ij}^1 er omkostningen ved brug af transportmiddel 1 mellem lokaliteterne i og j
 C_{ij}^k er omkostningen ved brug af transportmiddel k mellem lokaliteterne i og j

Imidlertid er b i dette tilfælde en dobbelt parameter, idet den er bestemmende for såvel valg af transportmiddel og for afstandafhængigheden, hvorfor man normalt introducerer en ny parameter I . Derved kan man opstille Ligning 21 for turfordelingen under hensyntagen til de forskellige transportmidler [Ortúzar, J. de D. & Willumsen, L. G. (1994)].

$$\text{Ligning 21} \quad T_{ij}^{kn} = X_i^n O_i^n B_j D_j e^{-b_n K_{ij}^n} P_{ij}^k = X_i^n O_i^n B_j D_j e^{-b_n K_{ij}^n} \frac{e^{-I_n C_{ij}^k}}{\sum_k e^{-I_n C_{ij}^k}}$$

hvor K_{ij}^n er en komposit omkostningsfunktion for en rejse mellem i og j , oplevet af et individ n

Resten af notationen følger Ligning 18 og Ligning 20

Det kan bevises, at den eneste komposit omkostningsfunktion der er løsning med hensyn til et rationelt nyttevalg er givet ved Ligning 22 [Ortúzar, J. de D. & Willumsen, L. G. (1994)].

$$\text{Ligning 22} \quad K_{ij}^n = \frac{-1}{I_n} \log \sum_k e^{-I_n C_{ij}^k} ; \text{ for hvilket der gælder, at } b_n \leq I_n$$

hvor λ_n er en parameter der kan tolkes på samme måde som parameteren β

C_{ij}^k er omkostningen ved brug af transportmiddel k mellem lokaliteterne i og j

Den komposite omkostningsfunktion er interessant, idet omkostning kan tolkes som negativ nytte og Ligning 22 kan således ses som et udtryk for den negative nytte ved at rejse fra lokaliteten i til lokaliteten j .

Nyttebaserede tilgængelighedsmodeller

Der eksisterer en vis analogi mellem udviklingen af de nyttebaserede trafikmodeller og de nyttebaserede tilgængelighedsmodeller [Williams, H. C. W. L. & Senior, M. L. (1977)].

I den stokastiske nytteteori er beslutningsprocessen karakteriseret ved rationelle valg. Udgangspunktet for et vilkårligt individ i en lokalitet L_i er at maksimere sin nytte. Sandsynligheden for at individet vælger at rejse til lokaliteten L_j er givet ved, at sandsynligheden for at nettonytten S_{ij} ved at rejse fra L_i til L_j er større end lig nettonytten ved at rejse fra L_i til en hvilken som helst anden destination. Således kan sandsynligheden for at udføre en aktivitet i lokaliteten L_j fra L_i gives ved Ligning 23.

$$\text{Ligning 23} \quad P_{ij} = \text{Sand}(S_{ij} \geq S_{ij'}, \forall j' \in L = \{L_1, \dots, L_j, \dots, L_n\})$$

Hvor nettonytten S_{ij} er givet ved nytten U_j der opnås i lokaliteten L_j minus transport omkostningerne c_{ij} , som angivet i Ligning 24 [Williams, H. C. W. L. & Senior, M. L. (1977)].

$$\text{Ligning 24} \quad S_{ij} = U_j - c_{ij}$$

Af Ligning 24 ses, at den nytte individet opnår ved at rejse til lokaliteten L_j afhænger dels af værdien af nytten U_j i lokaliteten samt omkostningen c_{ij} ved at rejse til lokaliteten.

Hvis fordelingen af de tilfældige variable \underline{S} kan antages at følge en Weibull fordeling, er sandsynligheden P_{ij} for at aktiviteten bliver udført i lokaliteten L_j givet ved Ligning 25 [Williams, H. C. W. L. & Senior, M. L. (1977)].

$$\text{Ligning 25} \quad P_{ij} = \frac{a_j e^{b(U_j^* - c_{ij})}}{\sum_j a_j e^{b(U_j^* - c_{ij})}}$$

hvor a_j er en a priori sandsynlighed for at aktiviteten vil foregå i lokaliteten L_j , f.eks. udtrykt ved størrelsen af aktiviteten i lokaliteten

U_j^* er middelværdien af nytten

b er en kalibreringsparameter

For en Weibull fordeling er den forventede nytte af et givent valgsæt givet ved Ligning 26 og det ses, at der er en direkte parallel til Ligning 22 [Williams, H. C. W. L. & Senior, M. L. (1977)].

$$\text{Ligning 26} \quad \langle S_i \rangle = \frac{1}{b} \log \sum_j a_j e^{b(U_j^* - c_{ij})}$$

hvor notationen er den samme som for Ligning 25

Forskellen på Ligning 22 og Ligning 26 er, at hvor Ligning 22 beskriver nytten (i form af omkostningen) ved selve rejse, så beskriver Ligning 26 den nettonytte, som individet opnår ved at rejse til lokaliteten. $\langle S_i \rangle$ i Ligning 26 er samtidig gennemsnitsværdien for fordelingen af maksimal nytte og kan således tolkes som et udtryk for den nytteteoretiske tilgængelighed i lokaliteten L_i [Williams, H. C. W. L. & Senior, M. L. (1977)].

5.7 DISAGGREGERET TILGÆNGELIGHEDSMÅL

De disaggregerede tilgængelighedsmål tager som oftest deres udgangspunkt i individets muligheder for at deltage i aktiviteter og ligger dermed ofte tættere på en analyse af potentialet (se afsnit 5.2) end de aggregerede tilgængelighedsmål. Normalt anvendes et mål der beskriver mulighederne for at nå et givet antal destinationer, fra et givet udgangspunkt. I dette afsnit gennemgås to typer af disaggregerede tilgængelighedsmål.

De kumulative tilgængelighedsmål er en meget anvendt type af disaggregeret mål. Denne type mål anvendes til at fastlægge antallet af specifikke destinationer som kan nås inden for en given tidsperiode ved brug af et transportnetværk.

Anvendelsen af tid-sted diagrammer giver en mere nuanceret tilgang til de disaggregerede tilgængelighedsmodeller. Som navnet antyder er udgangspunktet det tidsmæssige perspektiv i forbindelse med tilgængeligheden. Denne type mål kan dog være besværlige at operationalisere, hvorfor de indtil nu sjældent er set anvendt i praksis.

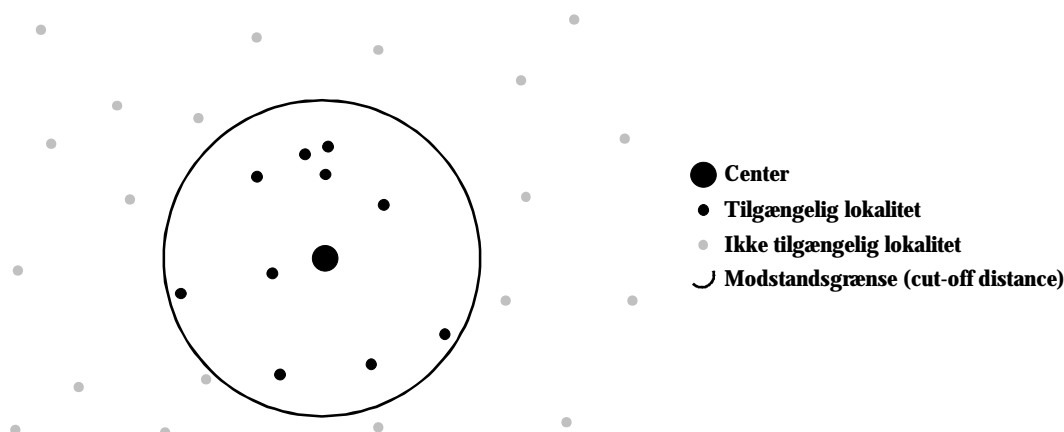
5.7.1 KUMULATIVE MÅL

Som navnet antyder, så opgør dette forholdsvis simple mål tilgængeligheden som antallet af muligheder, som der kan nås inden for en given afgrænsning.

Baggrunden for denne type mål har først og fremmest været et ønske om et planlægningsmål der var forholdsvis simpelt (men stadig anvendelig) og hvor såvel model som resultater var forståelig for beslutningstageren [Ulrich, A. (1995)]. I modsætning til de gravitationsbaserede mål, hvor hele det teoretiske grundlag er et udtryk for interaktion, er grundlaget for de kumulative mål, snare et udtryk for den sammenhæng, som det aktuelle transportsystem giver.

I sin simplest form angives tilgængeligheden som summen af lokaliteter der ligger inden for en given modstandsgrænsen (cut-off distance) svarende til, at den blote tilstedeværelse af en lokalitet indikere et aktivitetsniveau. En illustration af dette princip kan ses på Figur 44.

Figur 44. Grafisk illustration af et kumulativt tilgængelighedsmål. Tilgængeligheden til centeret vil være givet ved antallet af lokaliteter inden for den given tidsgrænse.



Det generelle udtryk for den kumulative tilgængelighed giver dog mulighed for at anvende en vilkårlig værdisætning af aktiviteten og matematisk kan modellen formuleres som vist i Ligning 27.

$$\text{Ligning 27} \quad A_i = \sum_{j=1}^n a_j \mid n \in f(c_{ij}) \leq C_0$$

hvor A_i er tilgængeligheden for lokaliteten i
 a_j er aktiviteten (muligheden) i lokaliteten j (evt. blot en binær operator)
 n er mængden af lokaliteter, der opfylder kravet, at modstanden $f(c_{ij})$ ikke overstiger afgrænsningen C_0 .

Der er således en fundamental forskel mellem de gravitationsbaserede og de kumulative tilgængelighedsmål, idet afstandsafhængigheden for de kumulative mål er lagt uden for selve tilgængelighedsmålet.

I et gravitationsbaseret mål vil en fjernelse af afstandsafhængigheden svare til, at parameteren b i Ligning 19 sættes til 0. Derved antages tilgængeligheden at være uafhængig af modstanden mellem lokaliteterne og Ligning 19 giver en tilgængelighedsmodel som vist i Ligning 28.

$$\text{Ligning 28} \quad A_i = \sum_{j=1}^n \frac{a_j}{c_{ij}^b} = \sum_{j=1}^n \frac{a_j}{c_{ij}^0} = \sum_{j=1}^n a_j$$

hvor A_i er tilgængeligheden for lokaliteten i
 a_j er aktiviteten i lokaliteten j
 c_{ij} er modstanden mellem lokaliteterne i og j
 n er antallet af lokaliteter i netværket

Det er klart, at et sådan mål ikke har nogen anvendelighed, da tilgængeligheden er udtrykt ved den samlede mængde af aktivitet i transportsystemet og således vil være den samme for samtlige lokaliteter.

For de kumulative tilgængelighedsmål ligge afstandsafhængigheden som sagt uden for selve tilgængelighedsmålet således, at der ikke indgår nogen vægtning af aktiviteten i forhold til afstanden mellem lokaliteterne. Det eneste krav for at lokaliteten bidrager til tilgængeligheden er, at den maksimale modstandsgrænse C_0 ikke overskrides. Der er dog ikke noget til hindre for at anvende en vilkårlig modstandsfunktion $f()$ til at bestemme hvorvidt lokaliteten bidrager til tilgængeligheden eller ej

En af de umiddelbare fordele ved, at aktiviteten ikke er afstandsafhængig som i de gravitationsbaserede tilgængelighedsmodeller er, at enheden for tilgængeligheden vil være den samme som for aktiviteten. Vælger man f.eks. at angive aktiviteten som antallet af individer i lokaliteterne, vil det kumulerede tilgængelighedsmål også være givet som antallet af individer. I modsætning hertil vil enheden for det gravitationsbaseret tilgængelighedsmål være afhængig af enheden på modstandsfunktionen og parameteren b .

Denne type af tilgængelighedsmål har da også allerede bevist sin anvendelighed, idet de kumulative mål har været anvendt i forbindelse med undersøgelser af tilgængeligheden på europæisk niveau [Chatelus, G. & Ulied, A. (1995)].

5.7.2 TID-STED DIAGRAMMER

Tid-sted diagrammer baseres på Torsten Hägerstrands antagelse om, at al aktivitet er underlagt såvel en rumlig (spatial) som tidsmæssig (temporær) binding [Burns, L. D.

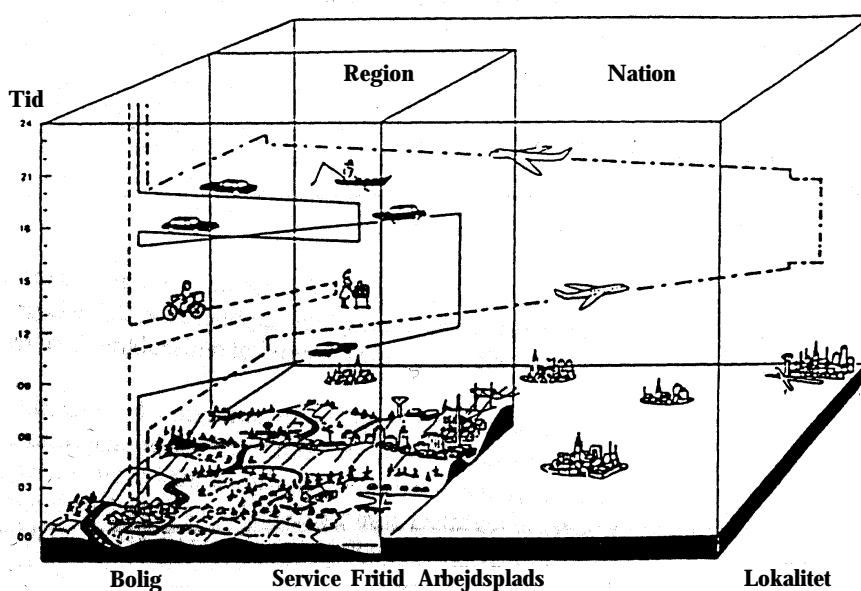
(1979)]. Idet tilgængeligheden skal udtrykke potentialet (eller begrænsningerne i aktivitetsmønstret) er det forholdsvis indlysende hvorfor Hägerstrands antagelse har interesse som tilgængelighedsmål.

Der har været gjort overvejelser omkring den mulige anvendelse af tid-sted diagrammer til beskrivelse af tilgængeligheden²⁹ men kun i de færreste tilfælde har det ført til en funktionsdygtig implementering. Denne beskrivelse af tid-sted diagrammer tager sit udgangspunkt i [Burns, L. D. (1979)].

Det rumlige råderum

Udgangspunktet for Hägerstrands teori er et paradigme, hvor enhver handling eller begivenhed (som i sammenhæng udgør et individs eksistens) er kendetegnet ved at have en sammenhørende rumlige og tidsmæssig attribut [Burns, L. D. (1979)]. Relateret til et individ, kan paradigmet illustreres som vist på Figur 45.

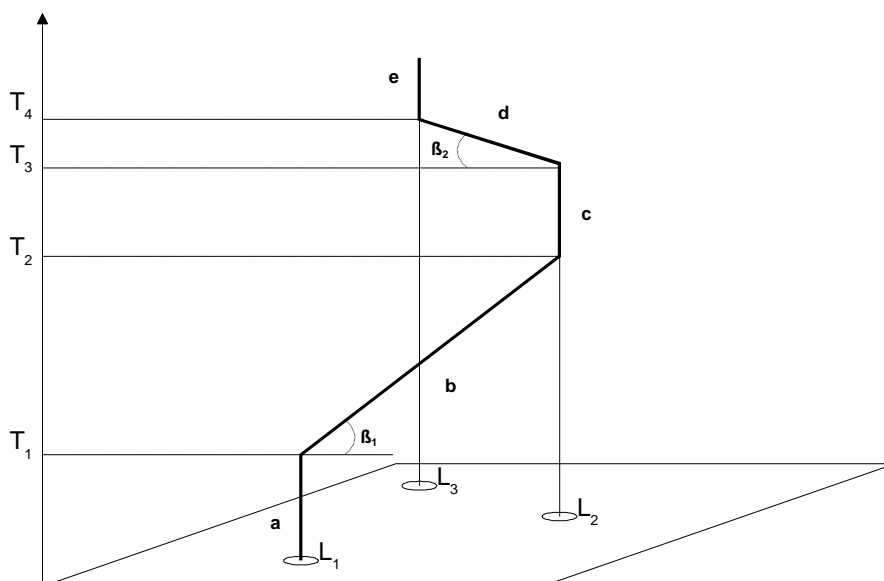
Figur 45. Illustration af sammenhængen mellem tid og rum for individets bevægelsesmønster [Book, K. & Eskilsson, L. (1996)].



Z-aksen er en kontinuert tidsakse, mens X-Y fladen angiver bevægelsen i planen. Hvis man anvender en lidt mere matematisk tilgang, kan man illustrer paradigmet som vist på Figur 46.

²⁹ f.eks. [Burns, L. D. (1979)].

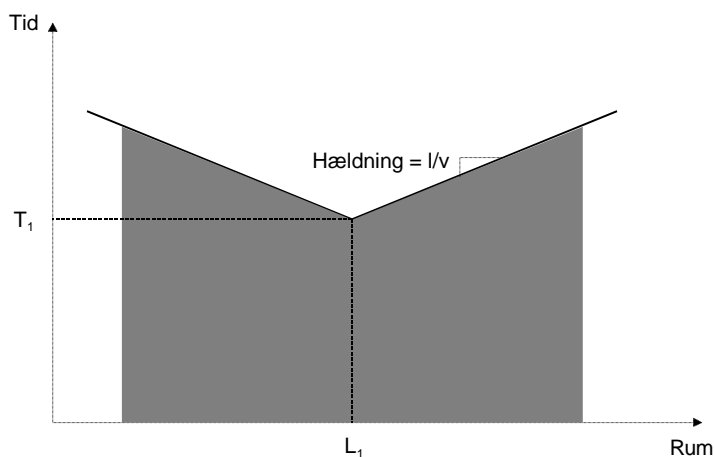
Figur 46. Illustration af sammenhængen mellem tid og rum i et tid-sted diagram [Burns, L. D. (1979)].



Til tiden T_1 forlader individet lokaliteten L_1 for at bevæge sig til lokaliteten L_2 . Rejsen foregår med en hastighed v over en afstand l og hældningen af linien b (vinklen β_1) er dermed givet som l/v . Individet tilbringer tidsrummet $T_3 - T_2$ i lokaliteten L_2 for herefter at rejse videre til lokaliteten L_3 , som nås til tiden T_4 .

Under normale omstændigheder er den 3-dimensionelle repræsentation dog lidt besværlig at håndtere, hvorfor man kan simplificere diagrammet i Figur 46 til to dimensioner, som vist på Figur 47.

Figur 47. Illustration af tid-sted diagram i 2 dimensioner [Burns, L. D. (1979)].

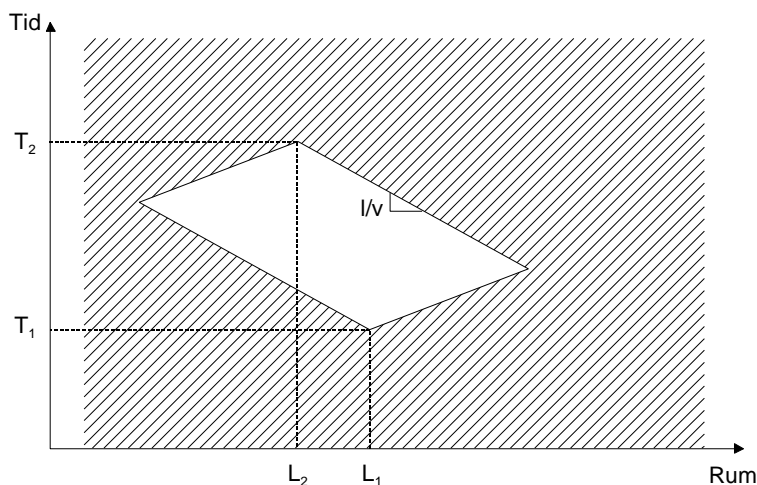


I denne repræsentation illustreres den rumlige bevægelse langs X-aksen mens tiden vises ud ad Y-aksen. Til tiden T_1 forlader individet lokaliteten L_1 og kan bevæge sig ud i det geografiske rum kun begrænset af hastigheden og afstanden, som vist med to rette linier. Det skraverede område svarer til de kombinationer af tid og sted, som individet afskærer sig fra at benytte, ved at opholde sig i lokaliteten L_1 .

På Figur 47 har individet kun én begrænsning, idet det opholder sig i lokaliteten indtil tiden T_1 . Med normalt er al menneskelig aktivitet underlagt en række bindinger i tid og rum. Det kan f.eks. være et arbejde, der kræver at man befinder sig på sin arbejdsplads i et vist tidsrum eller bestemte tider hvor man er nød til at være hjemme.

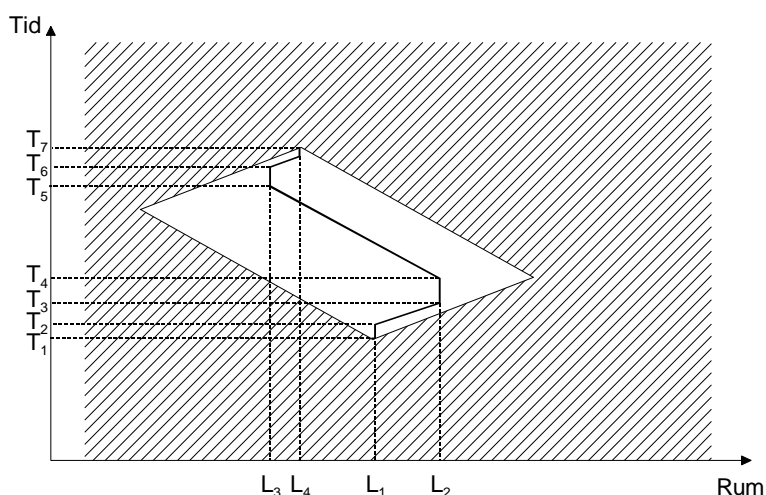
På baggrund af disse bindinger kan man opstille et såkaldt tid-sted prisme, som vist på Figur 48. Individet har i dette tilfælde to bindinger, idet lokaliteten L_1 først kan forladet til tiden T_1 og lokaliteten L_2 skal nås til tiden T_2 . Afhængig af den hastighed som individet kan rejse med kan man således, med udgangspunkt i Figur 47, optegne det tid-sted prisme som er vist på Figur 48.

Figur 48. Tid-sted prismet for et individ der har de to bindinger (L_1, T_1) og (L_2, T_2) .



Prismet kan betegnes som individets rumlige råderum. Det rumlige råderum er en betegnelse for, at det er i de lokaliteter der ligger indenfor prismet, at individet kan råde over sin tid til deltagelse i aktiviteter. Et interessant forhold ved tid-sted prismet er, at det rumlige råderum, som prismet udspænder er uafhængig af hvordan individet vælger at fordele sine rejser og deltagelse i aktiviteter. Der er altså tale om et potentiale for udfoldelse af aktiviteter. For at illustre dette, kan man i Figur 49 betragte et individ der foretager en sekvens af rejser svarende til en turkæde.

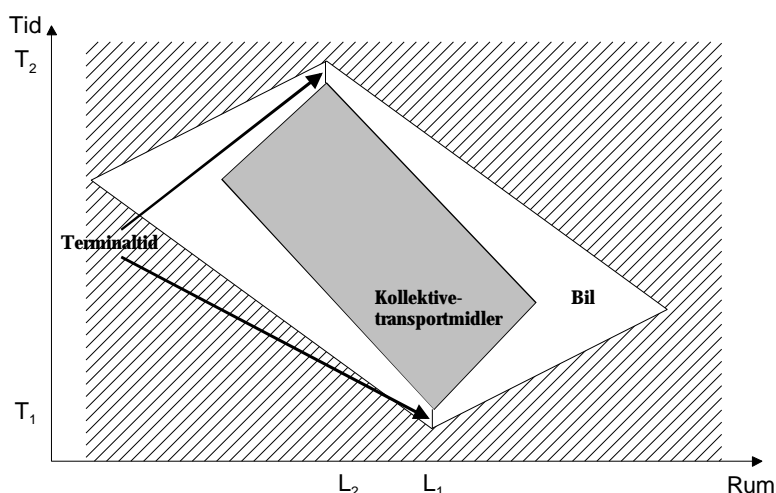
Figur 49. Eksempel på hvordan en turkæde for et individ repræsenteres i et tid-sted prisme.



Individet er bundet i lokaliteten L_1 indtil tidsrummet T_1 . Til tiden T_2 forlader individet L_1 og ankommer til tiden T_3 til lokaliteten L_2 . I L_2 deltages i aktiviteter i tidsrummet (T_4-T_3) hvorefter individet forsætter til lokaliteten L_3 med ankomst til tiden T_5 . Til tiden T_6 forlades L_3 og individet ankommer til den rumlige binding til tiden T_6 , altså (T_7-T_6) , før bindingen i tid og rum.

Tid-sted prismet kan også anvendes til at illustrere multimodale forskelle, som vist på Figur 50.

Figur 50. Illustration af tid-sted prismet som funktion af forskellige transportmidler.



På Figur 50 er illustreret det rumlige råderum for brug af henholdsvis bil og kollektive transportmidler til transport mellem de to bindinger i tid og rum (L_1, T_1) og (L_2, T_2). Som det fremgår af Figur 50, antages de kollektive transportmidler at have en langsommere rejsehastighed end en bil. Samtidig er det i forbindelse med anvendelse af de kollektive transportmidler nødvendig med en vis terminaltid og disse to forhold medvirker til at begrænse det rumlige råderum for individer der kun har adgang til kollektive transportmidler.

Bindinger i tid og rum

Man kan opdele de bindinger der begrænser individets rumlige råderum i 3 kategorier [Burns, L. D. (1979)].

- *Fysiske bindinger* er bestemmende for individets udfoldelsesmuligheder ved at kræve store sammenhængende blokke af tid til fysiske nødvendigheder (søvn, spisning og personlig omsorg) og som dermed begrænser den afstand som et individ kan rejse inden for et bestemt tidsrum i forhold til de tilgængelige transportmidler.
- *Interaktionsbindinger* der er bestemmende for hvor, hvornår og hvor længe et individ skal have interaktion med andre individer (eller objekter) for f.eks. at kunne deltage i produktion eller social aktiviteter.
- *Institutionelle bindinger*, der er bestemmende for, hvem der har adgang til specifikke områder til specifikke tider for at gøre specifikke ting som et resultat af generelle regler, love, økonomiske barriere og energi begrænsninger.

Enhver ændring af disse bindinger vil have indflydelse på individets rumlige råderum, men i denne sammenhæng begrænses beskrivelsen i første omgang til ændringer i trafiknettet.

Den udvidelse af individets tid-sted prisme som en ændring i trafiknettet medføre kan ses som er mål for forbedringen af tilgængeligheden. Dette leder til to fundamentale tilgange til at måle nytten af tilgængeligheden [Burns, L. D. (1979)].

- Et *lokalitets-potentiale*, som definerer et potentiale, bestående af egenskaberne (attributterne) ved en placering, afstanden som et individ skal tilbagelægge for at komme til lokaliteten og tidsrummet individet kan tilbringe på denne lokalitet.
- Et *rute-potentiale*, som definerer et potentiale i form af en rute (dvs. en sti gennem et geografisk område defineret som en sekvens af lokaliteter), længden af ruten, egenskaberne ved de lokaliteter der er tilgængelige via denne rute og den totale mængde af tid, som et individ er i stand til at tilbringe på disse lokaliteter.

Disse typer af potentialer behandles ikke nærmere i denne afhandling³⁰.

5.7.3 KONKLUSION OG OPSUMMERING

Formålet med dette kapitel har været, at præsentere et teoretisk grundlag til forståelse af begreberne tilgængelighed og mobilitet. De to begreber blev defineret til:

Tilgængeligheden beskriver den lethed, hvormed enhver arealbaseret aktivitet kan nås fra en lokalitet, ved anvendelse af et givet transportsystem.

Mobilitet beskriver den lethed, hvormed et individ kan bevæge sig bort fra en given lokalitet, ved anvendelse af et givet transportsystem.

Tilgængeligheden og mobiliteten blev samtidig sat i relation til den fysiske planlægning og især de opstillede definitioner for individets potentiale og det oplevede potentiale har en vigtig relation til den multimodale trafikplanproces.

Potentialet beskriver individets muligheder for at deltage i aktiviteter.

Det oplevede potentiale beskriver individets opfattelse af mulighederne for at deltage i udvalgte aktiviteter.

Potentialet og det oplevede potentiale kan således betragtes som proxyer for den *option value* der indgår i Ligning 8.

En vigtig del af kapitlet var desuden præsentationen af en konsistent taksonomi. Der blev præsenteret et forslag til en strukturel klassifikation og der blev givet en række retningslinier til opstilling af modeller for tilgængelighed og til dels mobilitet.

Den strukturelle klassifikation og gennemgangen af de tre forskellige modeltyper i klassifikationen danner det teoretiske grundlag for de modeller der er implementeret i det efterfølgende kapitel 6. Navnlig POINTER modellen for den strategiske mobilitet, der præsenteres i afsnit 6.4, er inspireret af tid-sted diagrammerne i afsnit 5.7.2.

I forbindelse med implementeringen af de konkrete modeller i kapitel 6 er der desuden forsøgt gjort brug af de retningslinier for opstilling af modeller, der er præsenteret i kapitlet.

³⁰ For en nærmere gennemgang se evt. [Burns, L. D. (1979)] eller [Kronbak, J. (1997)].

6. IMPLEMENTERING AF TILGÆNGELIGHEDSMÅL I GIS

Dette kapitel har til formål at præsentere den implementering af tilgængelighedsmål i GIS, som er foretaget i forbindelse med ph.d. studiet.

For at illustrere anvendelsen af GIS er valgt at implementere en model for hver af de tre hovedtyper af tilgængelighedsmål:

- Topologisk tilgængelighed
- Aggregeret tilgængelighed
- Disaggregeret tilgængelighed

Kapitlet indledes med en beskrivelse af det datagrundlag som de tre tilgængelighedsmodeller er afprøvet på, nemlig en nutidssituation (1995) og to scenarier beskrivende det fremtidige transportsystem i Danmark i år 2005.

Endelig afsluttes kapitlet med en konklusion og opsummering på en række af de forhold som er blevet gjort synlige i forbindelse med implementeringen.

Der lægges i fremstillingen ikke større vægt på den makroprogrammering af det geografiske informationssystem ARC/INFO, der har været nødvendig for at implementere tilgængelighedsmålene i GIS³¹.

6.1 DATAGRUNDLAGET

Baggrunden for den dataindsamling og opbygning af transportnetværk der er sket i forbindelse med dette ph.d. projekt har været tæt forbundet med Miljø- og Energiministeriets udfærdigelse af Landsplanredegørelsen fra 1996 [Landsplanafdelingen (1996)].

Der blev på et tidligt stadie af redegørelsen indledt et samarbejde mellem Institut Veje, Trafik og Byplanlægning³² og Landsplanafdelingen, idet man fra Miljø- & Energiministeriet side var interesseret i at anvende tilgængelighed til en mere "forståelig" illustration af transportsystemets sammenhæng i Danmark. Projektet kom til at omfatte den opbygning af datagrundlag som kort er beskrevet i dette afsnit, samt udfærdigelse og kommentering af i alt 44 kort³³ og bidrag til såvel Landsplanredegørelsen [Landsplanafdelingen (1996)] som baggrundsrapporten om tilgængeligheden i Danmark [Kronbak, J.; Nielsen, B.; Larsen, H. & Thorlacius, P. (1996)]. Et udvalg af disse kort anvendes til at illustrere implementeringen af den topologiske tilgængelighed i afsnit 6.2.

Beregningerne af tilgængeligheden blev udført for nutidssituationen og to fremtidsscenerier:

1995, der omfattede det eksisterende transportsystem i 1995.

³¹ Denne begrænsning er valgt (på trods af den betydelige arbejdsmæssige belastning, der har ligget i programmeringen) for at gøre kapitlet nemmere at læse og ud fra en betragtning om, at det vil være de færreste der ville overkomme at sætte sig ind i de programmeringsmæssige problemstillinger.

³² Det nuværende Institut for Planlægning (IFP).

³³ Se Appendiks I.

2005, der omfattede det transportsystem man kunne forvente i 2005 med de infrastruktur ændringer, der var vedtaget i 1995. Disse ændringer omfattede bl.a. den faste forbindelse over Storebælt og udbygningen af det jyske motorvejsnet.

2005HF, der omfattede det samme transportsystem som 2005, men antog, at der blev indført 3 nye hurtigfærger på ruterne over Kattegat.

2005/2005HF er interessante som scenarier, først og fremmest fordi der inden for tiåret 1995-2005 forventes at ske en stor udbygning af transportsystemet i Danmark. Disse ændringer vil give anledning til at vurdere om tilgængeligheden er egnet til at indgå i trafikplanprocessen som en trafikal konsekvens.

Transportnetværket, der er benyttet i forbindelse med undersøgelsen af den topologiske tilgængelighed, har været det mest komplekse, idet det har været multimodalt, omfattende vejnettet, færgeruter, jernbaner og flyruter. Det er opbygningen af dette netværk, der er beskrevet i det følgende.

Netværket, der blev benyttet i forbindelse med modellerne for den aggregerede og den disaggregerede tilgængelighed, var mere simpelt, idet det kun omfattede vejnettet.

6.1.1 OPBYGNINGEN AF TRANSPORTNETVÆRK

Som det kan ses på Figur 6 (side 13) er datamodelleringen en forholdsvis kompleks proces omfattende omformning af en ekstern model over en konceptuel model til en intern model. Denne transformation tager imidlertid ikke højde for, at de data man får leveret meget sjældent passer umiddelbart ind i den interne model. I forbindelse med undersøgelsen af den topologiske tilgængelighed gik ca. 75% af tidsforbruget med at transformere de leverede data om til information, der var brugbare i det geografiske informationssystem.

For at vurdere konsekvenserne af den faste forbindelse over Storebælt, valgtes at sammenligne nutidssituationen i form af transportsystemet i 1995 og to fremtidsscenarier i form af det forventede transportsystem i år 2005/2005HF.

I det følgende er de enkelte elementer i datagrundlaget kort beskrevet³⁴.

Vejnettet

Udgangspunktet for de data der blev brugt til undersøgelsen af den topologiske tilgængelighed var det digitale vejnet VejnetDK, som er udarbejdet af Vejdirektoratet i samarbejde med Kort- og Matrikelstyrelsen. Implementeringen blev foretaget med VejnetDK version 1.0, der indeholdt ca. 85.000 strækninger og 63.000 knuder. Vejnettet bestod således af de vejstrækninger, der var repræsenteret i Vejdirektoratets vejdatabase ved leveringen i januar 1995.

I Vejnettet er for hver enkelt strækning indlagt oplysninger om f.eks.:

- Typen af net (færger, motorvej, motortrafikvej osv.)
- Hastighedsbegrænsninger

³⁴ . For en mere uddybende beskrivelse af datagrundlaget se evt. [Thorlacius, P. (1995) eller Kronbak, J.; Nielsen, B.; Larsen, H. & Thorlacius, P. (1996)].

- Gennemkørselstiden for strækningen

For gennemkørselstiden gælder, at Vejdirektoratet har beregnet den ud fra strækningens længde, gældende hastighedsbegrænsning og vejtypen. Der blev gennemført en række kontroller af kortets kvalitet, bl.a. af nettets sammenhæng (en fejl på under 3 o/oo) og på gennemkørselshastighederne. Alle fejl der blev opdaget er rettet efter bedste skøn og evne.

Med hensyn til de tre scenarier gælder, at der for vejnettet kun er indført ændringer på motorvejsnettet. Motorvejsnettet som det er modelleret for nutidssituationen i 1995 er vist på Figur 51.

Figur 51. Motorvejsnettet for nutidssituationen (1995) [Thorlacius, P. (1995)].



I 2005 og 2005HF scenarierne er indføjet de ændring i motorvejsnettet, der var besluttet medio 1995:

- Den faste forbindelse over Storebælt
- En fast forbindelse over Øresund
- Det jyske motorvejsnet (Låsby - Århus, Herning - Bording, Esbjerg - Kolding, Vodskov - Frederikshavn og Nørresundby - Hirtshals)

Motorvejsnettet som det kom til at se ud for 2005 og 2005HF scenarierne er vist i Figur 52.

Figur 52. Motorvejsnettet for 2005 og 2005HF scenarierne [Thorlacius, P. (1995)].



Færger

I VejnetDK indgår en række af de større færgeruter med overfartstid. Alle færgeruterne er blevet kontrolleret, og der er i netværket indføjet de ruter der manglede, således at alle væsentlige færgeoverfarter fra DSB køreplanen 1994/1995 indgår i nettet for 1995 med deres respektive overfartstid. For alle færgeoverfarter er desuden indlagt en terminaltid, der dækker over tidsforbruger ved af- og tilkørsel på selve færgerne. Denne terminaltid er sat til mødetiden inden færgeafgangen. Færgeruterne i nettet for nutidssituationen er vist på Figur 53.

Figur 53. Færgeruterne i nettet for nutidssituationen (1995) [Thorlacius, P. (1995)].



For 2005 og 2005HF scenarierne er alle færgeforbindelser over Storebælt fjernet, således at al trafik på tværs af Storebælt benyttede den faste forbindelse. For 2005HF er overfartstiden desuden ændret for Grenå - Hundested, Odden - Ebeltoft og Århus - Kalundborg, så de svare til hurtigfærgernes overfartstider.

Jernbaner

Jernbanenettet blev defineret som IC3 nettet samt banerne til Helsingør og Rødby, og indlagt i netværket ved en digitalisering. På kystbanen er kun medtaget hovedstationerne. Kørselstiden mellem de enkelte stationer svarer til køreplanstiderne i DSB køreplanen 1994/1995. Ved hver station er indlagt en terminaltid (15 min.), der dækker over tidsforbruget ved skift mellem jernbane og vejtransport. Jernbanestrækningerne for nutidssituationen er vist i Figur 54.

Figur 54. Jernbanestrækninger for nutidssituationen (1995) [Thorlacius, P. (1995)].

På samme måde som for bilnettet, så føres al togtrafik for 2005/2005HF scenarierne over den faste forbindelse. Samtidig er selve jernbanenettet blevet opdateret efter DSB's K-Storebælts køreplan. K-Storebælt er en "konservativ" fremtidskøreplan, hvilket vil sige, at der ikke er gjort forudsætninger om indførelse af højhastighedstog eller lignende. Desuden påtænkte DSB på undersøgelsestidspunktet at nedlægge IC-statusen for strækningen til Kalundborg, hvorfor denne ikke er medtaget i de to 2005-scenarier. Jernbanestrækningerne for 2005-scenarierne er vist i Figur 55.

Figur 55. Jernbanestrækninger i de to 2005-scenarier [Thorlacius, P. (1995)].

Flyruter

Flyrutenettet er indlagt ved en digitalisering. For flyruterne er brugt det samme princip for terminaltid som for færgerne, idet terminaltiden for indenrigsruterne er sat til 30 min (svarende til mødetiden) og for udenrigsruterne til 60 min. Desuden er flynettet opbygget således at der også beregnes terminaltid ved skift mellem de forskellige flyruter, som f.eks. hvis man tager en indenrigsrute fra Rønne til København og dernæst en udenrigsrute videre til Oslo. Der er ikke forskel på flyrutenettet i de tre scenarier og flyruterne er vist på Figur 56.

Figur 56. Flyruter [Thorlacius, P. (1995)].

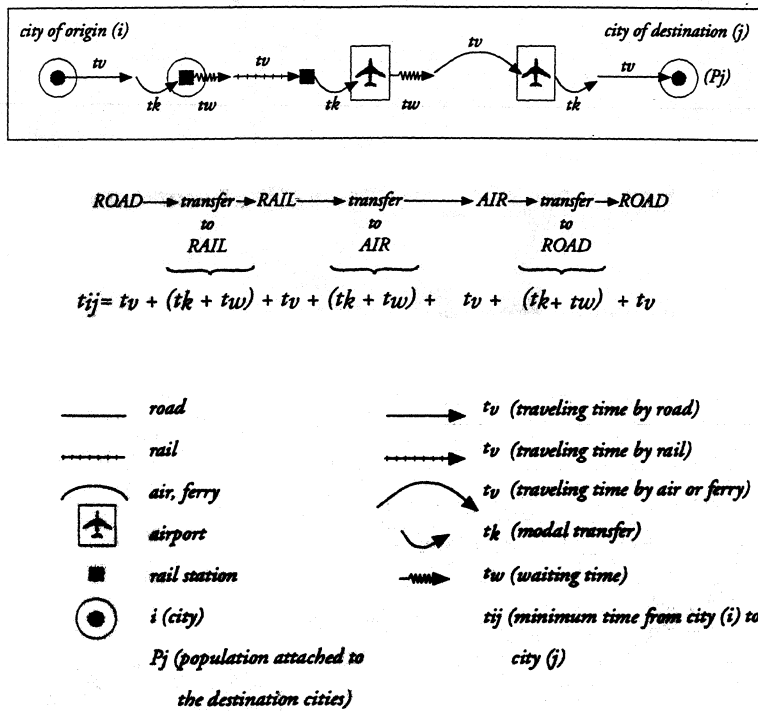
6.1.2 OPBYGNINGEN AF DET MULTIMODALE NETVÆRK

Det multimodale netværk, der er sammenkoblet på baggrund af netværkene for de fire trafikmidler beskrevet i afsnit 6.1.1. Det multimodale netværk er opbygget i overensstemmelse med teorien beskrevet i kapitel 3.

Der er dog en væsentlig begrænsning i den netværksopbygning, der er valgt. For at få dataindsamlingen ned på et overkommelig niveau indgår der ikke frekvenser for det kollektive net i beregningerne. Det betyder, at det ikke er nødvendigt at skelne mellem de forskellige linier i det kollektive net (jernbaner, færger og luftfart) og de kan dermed modelleres med en enkelt strækning. Skifte- og ventetid kan dermed modelleres ved at koble det kollektive og det individuelle net sammen vha. en fiktiv strækning, som vist på Figur 23 (side 32).

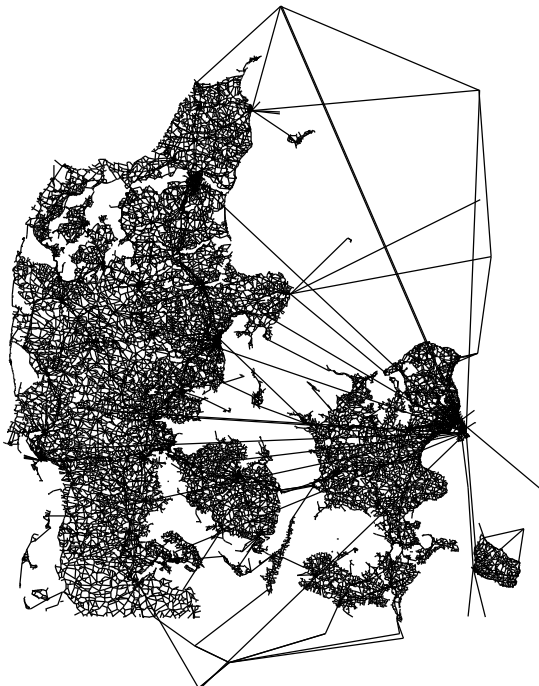
På denne fiktive strækning er så indlagt de vente- og skiftetider der er angivet for de enkelte net, således at rejsetiden kan modelleres som vist på Figur 57.

Figur 57. Modelling af rejsetid inklusiv skifte og ventetider [Chatelus, G. & Uljed, A. (1995)].



Det resulterede i, at det multimodale netværk der blev brugt som datagrundlag for beregningerne fik et udsende som vist på Figur 58.

Figur 58. Beregningsnetværket brugt i forbindelse med undersøgelsen af topologiske tilgængelighedsmål.



Det fremgår af Figur 58, at netværket indeholder en række knuder uden for selve Danmark. Disse knuder blev anvendt til at beregne rejsetider til en række udenlandske centre

(Oslo, Gøteborg, Malmø, Rostock, Lübeck, Kiel, Flensborg og Hamborg), men centrene har ingen betydning for de kort der indgår i denne afhandling.

6.2 TOPOLOGISK TILGÆNGELIGHED

Som tidlige nævnt har afprøvningen af brugen af GIS til illustration af topologisk tilgængelighed været anvendt i forbindelse med udarbejdelsen af Landsplanredegørelsen. Som det vil fremgå af visse af signaturforklaringerne vil en del af de kort der præsenteres i dette afsnit være relateret til dette arbejde, men illustrationerne adskiller sig i opbygning og farvevalg en del fra Landsplanredegørelsen [Landsplanafdelingen (1996)].

6.2.1 OPSTILLING AF EN TOPOLOGISK TILGÆNGELIGHEDSMODEL

I afsnit 5.5, defineres topologisk tilgængelighed til udelukkende at være baseret på netværkstopologien i det transportsystem man betragter [Mackiewicz, A. & Waldemar, R. (1996)].

Derved adskiller definitionen af den topologiske tilgængelighed sig fra de fleste andre tilgængelighedsmål, ved udelukkende at bestå af et transportelement og ikke en kombination af et transport- og et aktivitetselement (se evt. afsnit 5.4.1 side 61). Definitionen på topologisk tilgængelighed i afsnit 5.5 er dermed også i strid med den generelle definition på tilgængelighed som den er givet i afsnit 5.2. Det vil dog i afsnit 6.2.3 blive vist, hvordan et topologiske tilgængelighedsmål (i form af isokroner) relativt nemt kan udvides til også at inddrage et simpel udtryk for aktiviteten.

I Figur 42 (side 63) blev fremgangsmåden for opstilling af tilgængelighedsmodeller beskrevet som bestående af tre overordnede trin [Handy, S. L. & Niemeier, D. A. (1995)]:

- Specifikation
- Kalibrering
- Tolkning

Disse trin følges i opstillingen af den topologiske tilgængelighedsmodel, idet specifikationen og kalibreringen behandles efterfølgende i dette afsnit og tolkningen behandles i afsnit 6.2.2.

Specifikation

Ud over at det topologiske tilgængelighedsmål skal være baseret på netværkstopologien, så skal det også helst være i overensstemmelse med de 4 generelle retningslinier for opstilling af tilgængelighedsmodeller som skal anvendes til evaluering [Morris, J. M.; Dumble, P. L. & Wigan, M. R. (1979)] (se også afsnit 5.4.1, side 61).

- Tilgængelighedsmodellen skal inkorporere et element af rumlig adskillelse og respondere på ændringer i transportsystemets ydeevne.
- Tilgængelighedsmodellen skal under en eller anden form afspejle den observerede adfærd i transportsystemet.
- Det skal være teknisk muligt at indsamle data for de forklarende variable og modellen skal være operationel simpel.
- Tilgængelighedsmodellen skal være nem at forstå og tolke og skal helst være forståeligt for lægmand.

Med baggrund i disse retningslinier er det valgt, at bruge et topologisk tilgængelighedsmål baseret på rejsetiden gennem transportsystemet.

Rejsetiden må siges at inkorporere et vist element af rumlig adskillelse og respondere på ændringer i transportsystemets ydeevne. Hvorvidt rejsetiden også afspejler den observerede adfærd i transportsystemet er mere tvivlsomt. Til gengæld burde der ikke være de store problemer med at indsamle data for de forklarende variable og modellen vil også være operationel simpel. Med hensyn til hvorvidt tilgængelighedsmodellen vil være nem at forstå og tolke, så det rimelig simpelt (selv for lægmand) at relatere rejsetiden til omkostningen for at bevæge sig gennem transportsystemet.

Rejsetiden som mål bliver interessant i det øjeblik man definerer, hvilken rejsetid der er tale om. Det er her aktiviteten som transportsystemet skal understøtte kommer ind i billedet. I forbindelse med Landsplanredegørelsen blev der defineret dels en række centre, og dels en række transporttydelser som man var interesseret i at visualisere rejsetiden til.

Centrene omfattede tre niveauer:

- Overordnet statsligt servicecenter (København)
- Overordnede servicecentre (København, Oslo, Gøteborg og Hamburg)
- Landsdelscentre (bl.a. København, Århus, Odense, Aalborg og Esbjerg)

Transporttydelserne omfattede bl.a. adgangen til:

- Motorvejstilkørsler
- Overordnede jernbanestationer
- Udenrigs- og indenrigslufthavne

Som det ses af afsnit 6.1.2 giver opbygningen af det multimodale netværk mulighed for at bestemme den samlede rejsetid selv for kombinationer af transportmidler. I denne sammenhæng er valgt, at skelne mellem tre overordnet kombinationer af transportmidler³⁵:

- *Alle transportmidler* dækker over en vilkårlig kombination af bil, tog, fly og færge. Disse beregninger resulterer altså i den kortest mulige rejsetid.
- *Overfladetransportmidler* dækker over en vilkårlig kombination af bil, tog og færge. Det vil sige at der ses bort fra muligheden for at rejse med fly. Disse kort vil altså indeholde en del af konkurrencefladen mellem bil og tog, idet toget anvendes som transportmiddel i de tilfælde hvor det kan nå en lokalitet hurtigere end bilen.
- *Bil* dækker over en vilkårlig kombination af bil og bilfærge. Det vil sige, at kun færger, der medtager biler, indgår i nettet.

Kalibrering

Et topologisk tilgængelighedsmål baseret på rejsetiden gennem transportsystemet har ikke direkte behov for en kalibrering, først og fremmest fordi der ikke er knyttet nogen parametre til den forklarende variabel. Man kan, med en vis tilnærmelse, antage, at fastsættelsen af vente og skiftetider, som beskrevet i afsnit 6.1.2, i virkeligheden er en

³⁵ I Landsplanredegørelsen indgik også net udelukkende for tog og lastbiler se evt. [Thorlacius, P. (1995) eller Kronbak, J.; Nielsen, B.; Larsen, H. & Thorlacius, P. (1996)].

form for kalibrering af modellen, idet der i dette tidstillæg kan indgå overvejelser omkring frekvensens indflydelse på ventetiden. I dette tilfælde er vente og skiftetider dog udelukkende fastsat ud fra rent empiriske overvejelser.

6.2.2 TOLKNING AF DEN TOPOLOGISKE TILGÆNGELIGHED

Det vil være for omfattende at komme ind på alle aspekter af de rejsetidsundersøgelser der blev foretaget i forbindelse med Landsplanredegørelsen, men en samlet oversigt over de producerede kort kan ses i Appendiks II. Da fokus for denne afhandling har været at illustrere anvendeligheden af GIS til modellering af den topologiske tilgængelighed er udvalgt en række kort som kommenteres og tolkes. Dette afsnit skal altså ikke ses som en fyldestgørende undersøgelse af tilgængeligheden i Danmark, men give en forståelse for styrker og svagheder ved at anvende den topologiske tilgængelighed til denne type konsekvensberegninger.

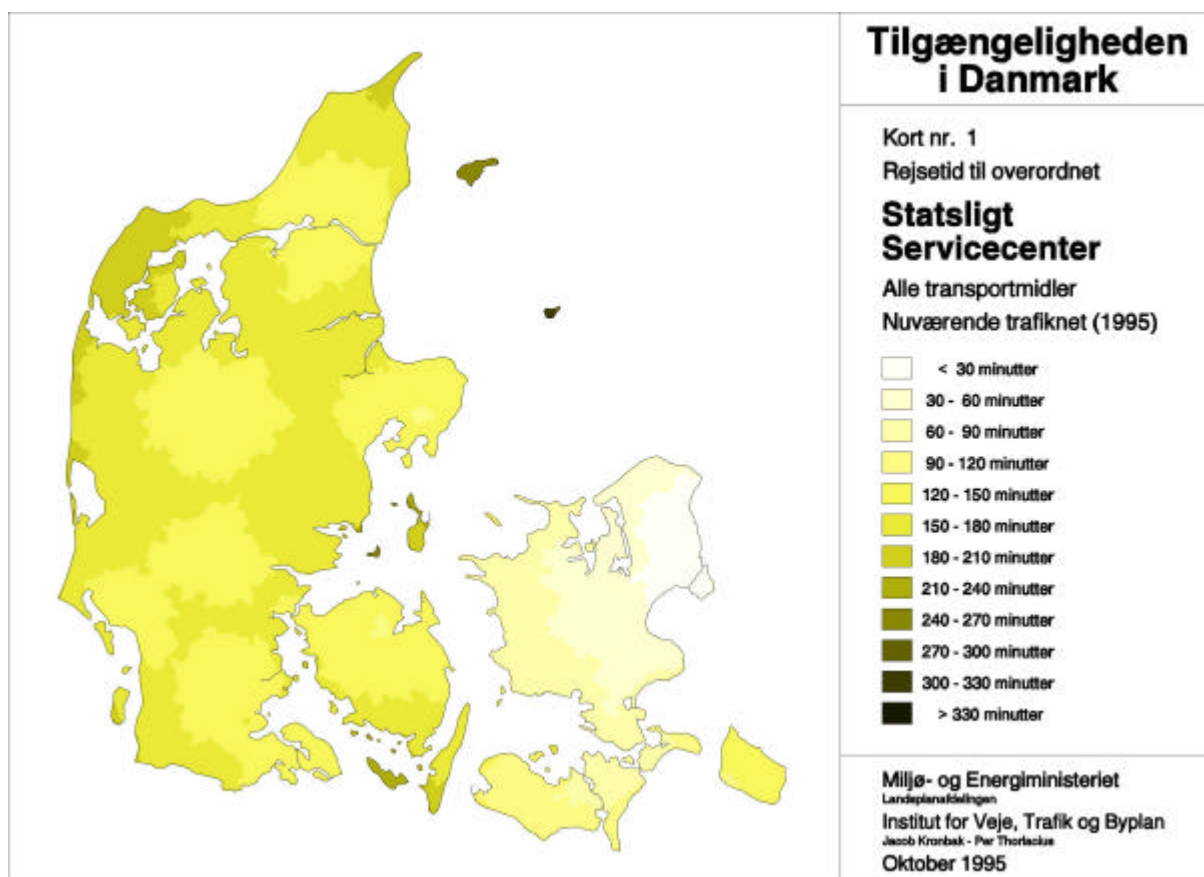
Når man taler om tolkning af de topologiske tilgængelighedskort, kan man anskue tolkningen som en matrix. Det er dels muligt at sammenligne de forskellige kombinationer af transportmidler inden for det enkelte scenario og samtidig er det muligt at sammenligne ændringerne i forhold til de enkelte scenarier for de enkelte kombinationer af transportmidler. Det er selvfølgelig også mulig at sammenligne på tværs af denne matrix, men for at begrænse omfanget er i afhandlingen valgt to sammenligninger:

- Sammenligning af forskellige kombinationer af transportmidler inden for et enkelt scenario
- Sammenligning af scenarier for en enkelt kombination af transportmidler

Sammenligning af forskellige kombinationer af transportmidler inden for et enkelt scenario

Det er i denne sammenhæng valgt at betragte adgangen til overordnet statslig service for nutidssituationen til sammenligning af de forskellige kombinationer af transportmidler. Den overordnede statslige service i Danmark er defineret til udelukkende at være placeret i København. På Figur 59 er vist den mindst mulige rejsetid til København (Rådhuspladen) fra ethvert punkt i Danmark, hvis man benytter en vilkårlig kombination af bil, tog, færger og fly.

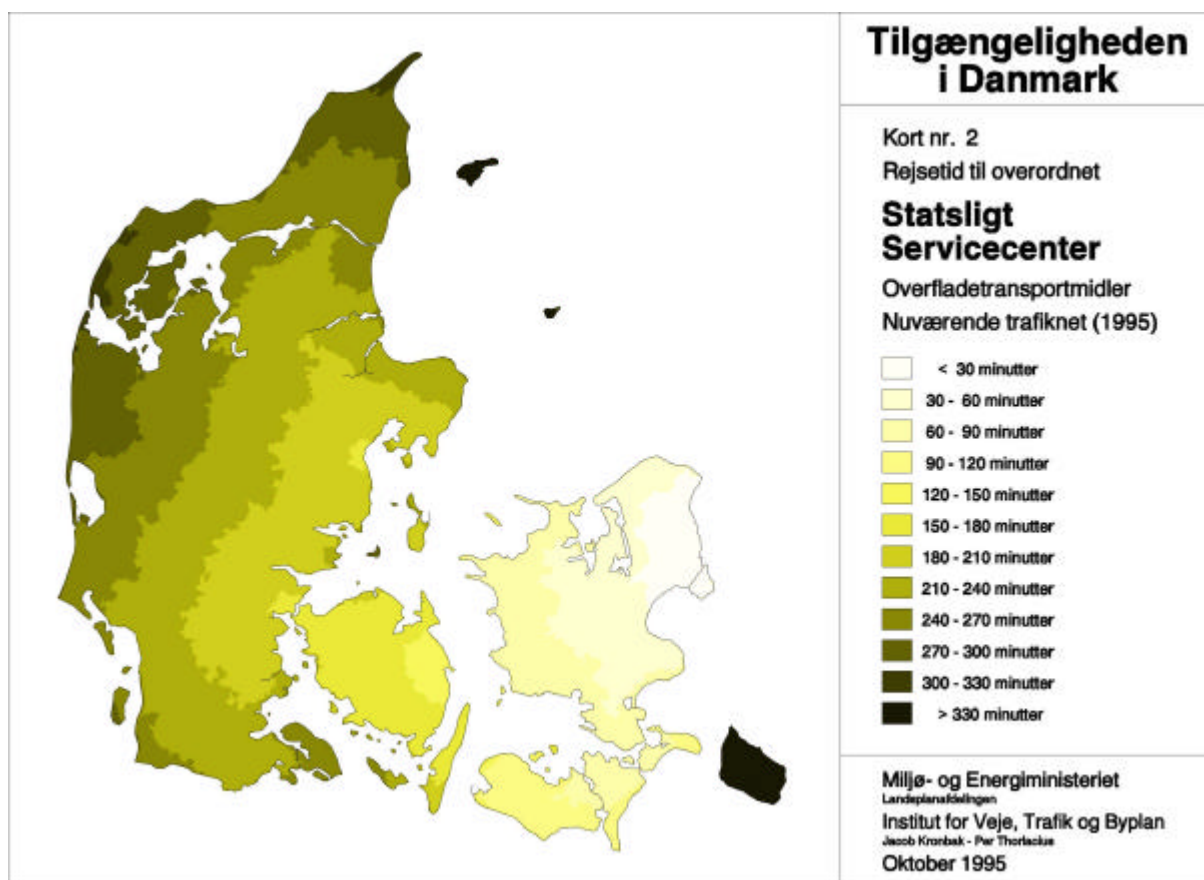
Figur 59. Den mindst mulige rejsetid til København (overordnet statsligt servicecenter), ved brug af en vilkårlig kombination af bil, tog, færge eller fly for nutidssituationen (1995).



Det ses, hvordan indenrigslufthavne har stor indflydelse på denne rejsetid, idet områderne omkring f.eks. Aalborg, Århus (Tirstrup) og Billund har væsentlig kortere rejsetid end resten af Jylland. Rejsetiden fra Bornholm til København er på højde med den fra Fyn, mens andre ø-samfund som f.eks. Anhold, Læsø, Samsø og Ærø, der ikke har direkte adgang til en indenrigslufthavn er væsentligt dårligere stillet.

På Figur 60 er vist den mindst mulige rejsetid til København, med den forskel at der kun kan gøres brug af overfladetransportmidler (altså ingen fly). Dermed bliver billedet ganske anderledes.

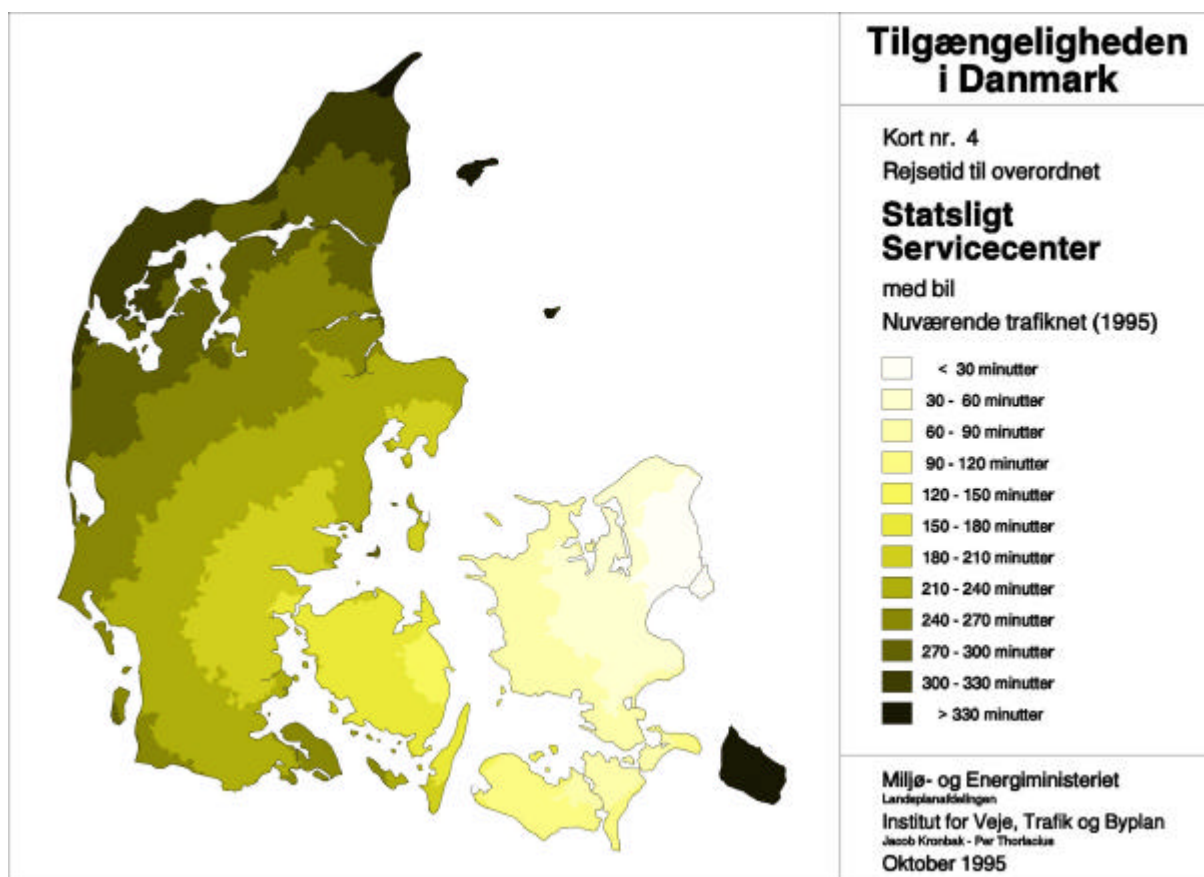
Figur 60. Den mindst mulige rejsetid til København (overordnet statsligt servicecenter), ved brug af en vilkårlig kombination af bil, tog og færge for nutidssituationen (1995).



Man kan tydelig se, hvordan færgeoverfarten over Storebælt "opsluger" intervallet 90-120 minutter og hvordan rejsetiden gradvis stiger jo længere væk man kommer fra København. De mere perifere ø-samfund som Bornholm, Anholt og Læsø er væsentligt ringere stillede end på Figur 59. Det er desuden værd at ligge mærke til, at overfarten Kalundborg – Århus og til dels Odden – Ebeltoft, sikrer en væsentlig bedre adgang til København fra det Nordjyske område end fra resten af Jylland.

På Figur 61 er så endelig vist den kortest mulige rejsetid til København ved brug udelukkende af bil og færgeforbindelser.

Figur 61. Den mindst mulige rejsetid til København (overordnet statsligt servicecenter), ved brug af en vilkårlig kombination af bil og færge for nutidssituationen (1995).



Den tidsmæssige indflydelse som færgeforbindelsen Oden – Ebeltoft har ses tydeligt, i form af et 180-210 minutters interval på Djursland.

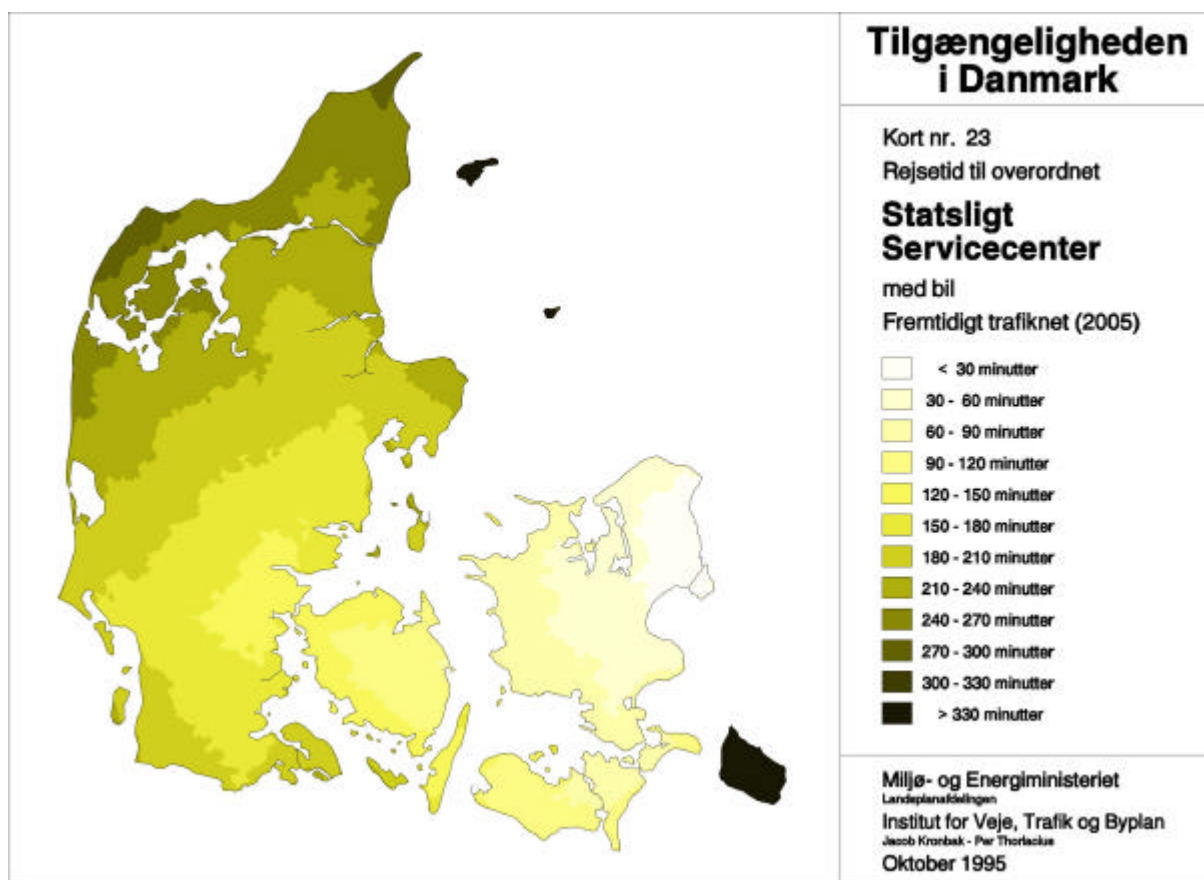
Et andet interessant fænomen der fremgår af Figur 61 er den ”udtrækning” af rejsetiden, der sker langs motorvejene. Det er tydeligt at se påvirkningen på isokronerne fra f.eks. E47/E55 ned over Sydsjælland, E20 hen over Fyn og E45 mod Aalborg. Dette fænomen kan faktisk også ses på Figur 60, hvilket støtter den konklusion man også kan komme frem til ved at sammenligne Figur 60 og Figur 61, nemlig at bilnettet i nutidssituationen er jernbanenettet tidsmæssigt overlegent.

Sammenligning af scenarier for en enkelt kombination af transportmidler

Konsekvensen af de tre scenarier for en enkelt kombination af transportmidler illustreres ved rejsetiden til det overordnede statslige servicecenter København ved brug af bil og færger.

På Figur 62 er vist den mindst mulige rejsetid til København, ved brug af en vilkårlig kombination af bil og færge for 2005-scenariet.

Figur 62. Den mindst mulige rejsetid til København (overordnet statsligt servicecenter), ved brug af en vilkårlig kombination af bil og færge for 2005 scenariet.



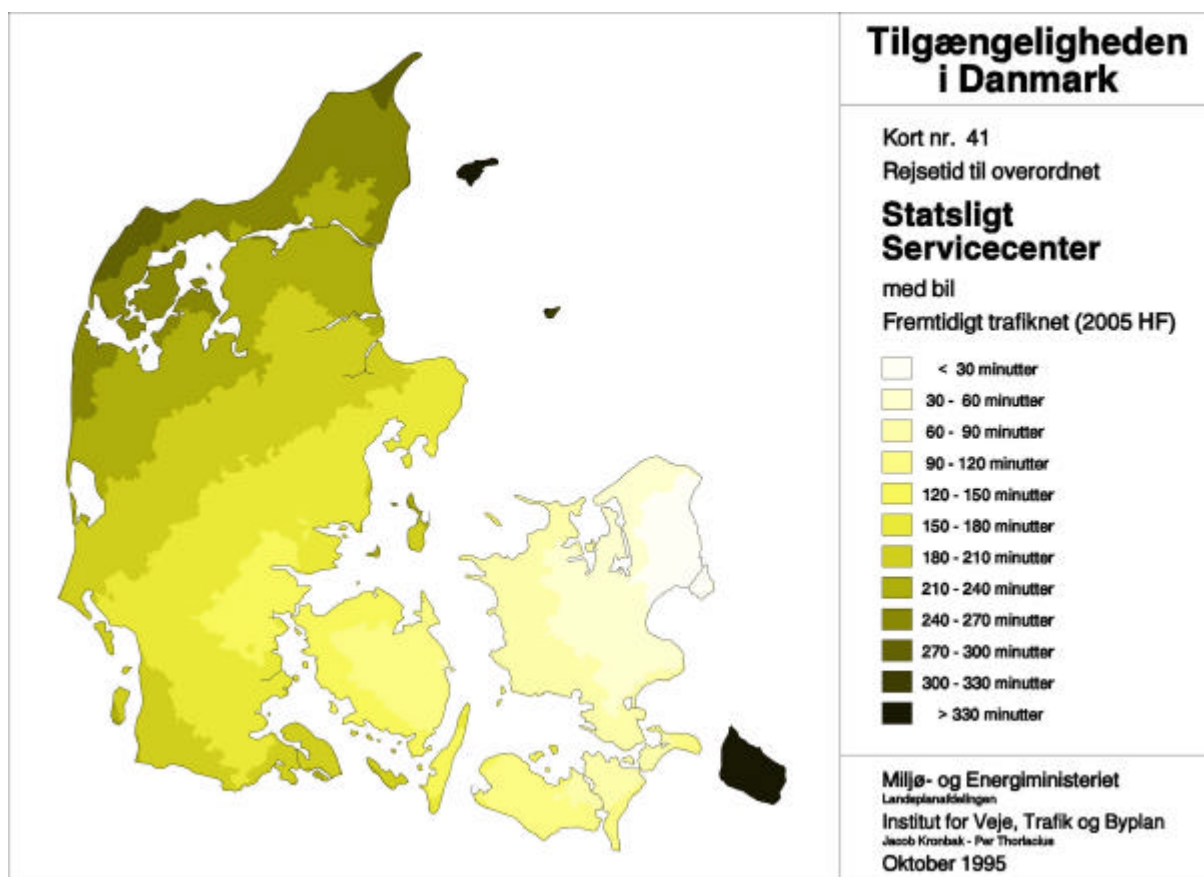
På samme måde som for nutidssituationen, som er vist i Figur 61, ses, at rejsetiden stiger jævnt jo længere væk man kommer fra København. Den største umiddelbare forskel på nutidssituationen og 2005-scenariet er udbredelsen af de enkelte isokroner. På Figur 62 ses hvordan etableringen af den faste forbindelse over Storebælt forventes at skære ca. 60 minutter af rejsetiden for rejsende vest for Storebælt³⁶. Denne rejsetidsbesparelse forplanter sig hele vejen op gennem Jylland, således at rejsetiden fra Skagen falder fra intervallet >330 til 270-300 minutter.

Nu skyldes denne rejsetidsbesparelse ikke udelukkende den faste forbindelse over Storebælt. Som gennemgået i afsnit 6.1.1 inkludere 2005-scenariet også en større udbygning af det jyske motorvejsnet. Effekten af denne udbygning fremgår også af Figur 62. Mellem Kolding og Esbjerg sker der en "udtrækning" af isokronen, som følge af etableringen af motorvejen til Esbjerg og i det nordjyske kan det nord for Aalborg ses, hvordan de to motorvejsforbindelser til henholdsvis Frederikshavn og Hirtshals trækker 210-240 minutters isokronen i hver sin retning.

Endelig ses på Figur 63 den mindst mulige rejsetid til København, med bil og færge, for 2005HF-scenariet.

³⁶ Rejsetiden i 1995 var 60 min. + 15 min. terminaltid. For 2005-scenariet er rejsetiden sat til 10 min. + 2 min terminaltid.

Figur 63. Den mindst mulige rejsetid til København (overordnet statsligt servicecenter), ved brug af en vilkårlig kombination af bil og færge for 2005HF-scenariet.



På samme måde som for 2005-scenariet, sker der i 2005HF-scenariet en forskydning af isokronerne op gennem Jylland pga. den faste forbindelse over Storebælt og påvirkningen fra udbygningen af de jyske motorveje ses også tydeligt. Dette er ikke overraskende, idet det landbaserede netværk er det samme for 2005- og 2005HF-scenarierne. Forskellen mellem de to scenarier er overfartstiderne på bilfærgeforbindelserne over Kattegat.

Effekten af indsættelsen af hurtigfærgerne kan, ved en sammenligning mellem Figur 62 og Figur 63, ses på Djursland i form af en 120-150 minutters isokron omkring færgeforbindelsen Odden – Ebeltoft. Det interessante ved denne sammenligning er, at man kan finde den tidsmæssige konkurrenceflade mellem Odden – Ebeltoft og den faste forbindelse over Storebælt. Eftersom der ikke er forskel på isokronerne i Figur 62 og Figur 63 nord for Hobro, kan færgeforbindelsen ikke have den store tidsmæssige indflydelse bortset fra på selve Djursland og syd for Randers fjord. Det skyldes sandsynligvis, at den tid der vindes ved at sejle over Kattegat til dels bliver sat til pga. den forholdsvis lave hastighed på hovedvej 21 over Djursland og ved sammenfletningen mellem hovedvej 21 og E45 er tidsforspringet forsvundet. Dermed er tidsforbruget det samme hvis man kommer nord for Randers og valget mellem færgeforbindelsen Odden – Ebeltoft og den faste forbindelse over Storebælt må bero på andre præferencer end de temporale.

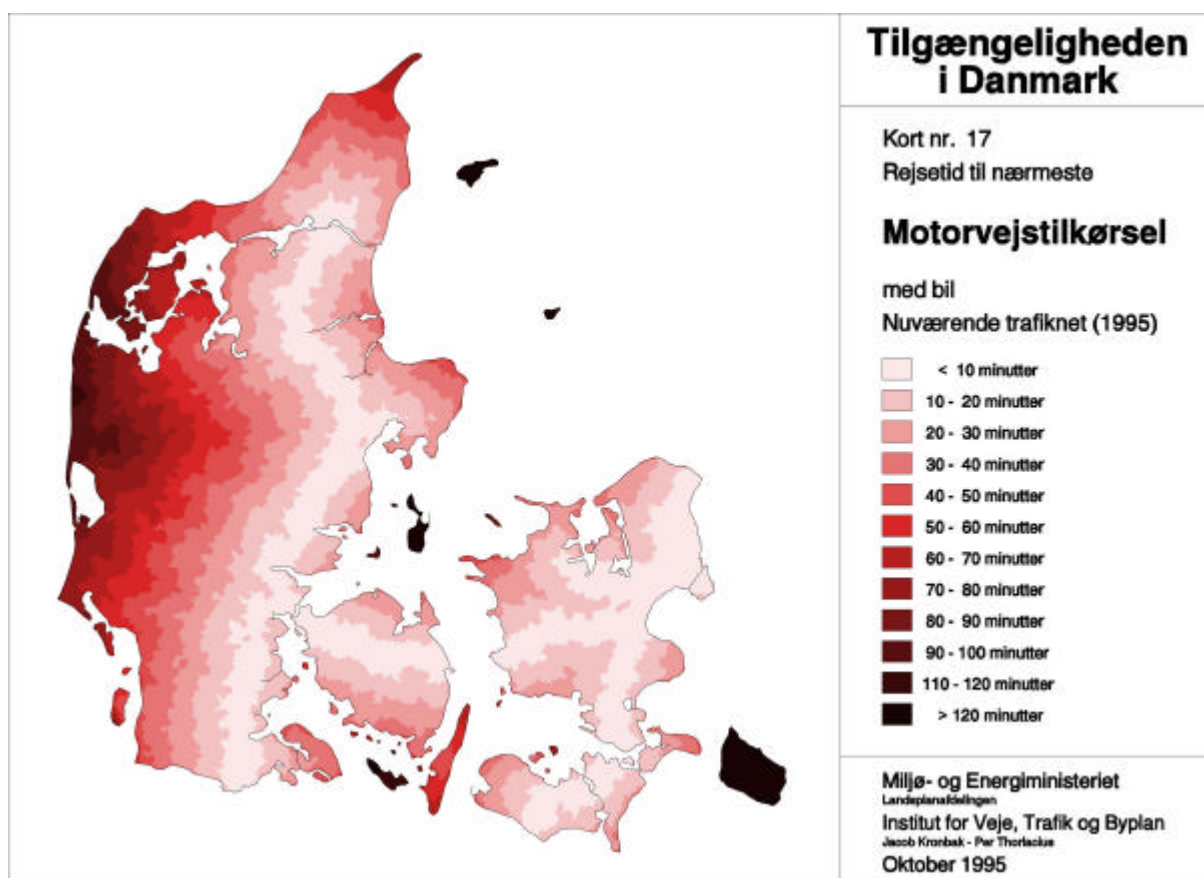
6.2.3 EFFEKTIVURDERING

I afsnit 6.2.2 er der givet eksempler på, hvordan GIS kunne anvendes til at beregne og illustrere topologisk tilgængelighed. Brugen af GIS giver dog også mulighed for andre typer undersøgelser.

Selvfølgelig er det interessant at se hvordan rejsetiden til København ændre sig fra et vilkårlig punkt i Danmark, men det giver ikke rigtig noget indtryk af den nytte befolkningen har af disse ændringer. For at kunne vurdere betydningen for befolkningen af den ændrede rejsetid kan man udnytte det geografiske informationssystems mulighed for at lave andre typer af rumlige analyser (se evt. afsnit 2.4.3). Dette vil blive eksemplificeret ved en undersøgelse af ændringen i befolkningens adgang til motorvejsnettet i 1995 i forhold til 2005-scenariet³⁷.

Som en del af undersøgelsen i forbindelse med Landsplanredegørelsen [Landsplanafdelingen (1996)] blev rejsetiden med bil til den nærmeste motorvejstilkørsel beregnet. Rejsetiden til den nærmeste motorvejstilkørsel med bil for nutidssituationen i 1995 kan ses i Figur 64.

Figur 64. Rejsetiden til nærmeste motorvejstilkørsel med bil for nutidssituationen (1995).

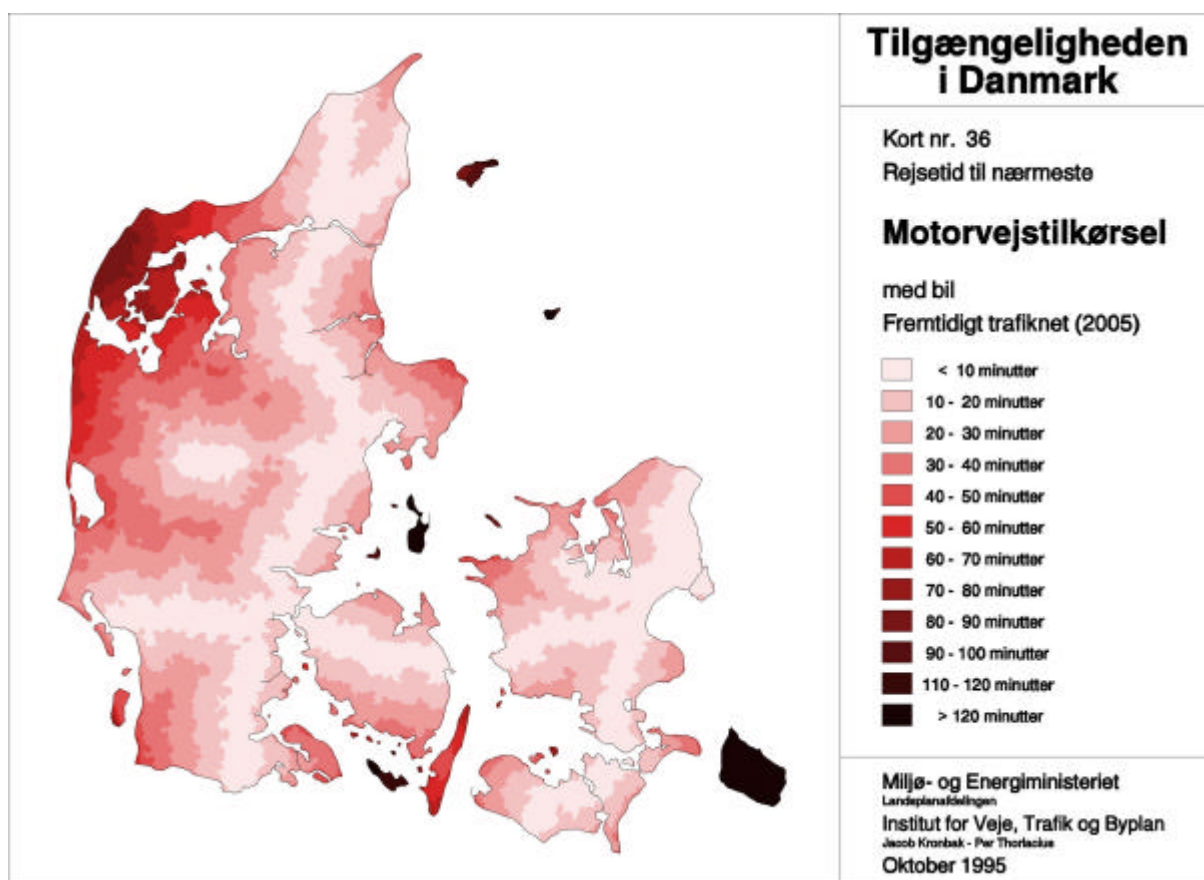


Som det ses på Figur 64 træder det store motorvejs H i Danmark tydeligt frem. Sjælland, Lolland-Falster og Fyn har en rimelig god dækningsgrad med under 50 minutter til nærmeste motorvejstilkørsel, mens det, ikke overraskende, kniber lidt for ø-samfundene som f.eks. Bornholm, Ærø, Samsø og Anholt. Langeland har på grund af den gode forbindelse til Fyn væsentlig kortere rejsetid til motorvejsnettet end de øvrige øer. I Jylland ses det meget tydeligt hvordan motorvejene er placeret op langs byerne på østkysten, mens befolkningen i det vestlige Jylland har forholdsvis lang rejsetid til motorvejsnettet.

³⁷ 2005HF-scenariet er uinteressant i denne sammenhæng, da ændringerne i motorvejsnettet er de samme som for 2005-scenariet.

På Figur 65 er vist rejsetiden til nærmeste motorvejstilkørsel med bil for 2005-scenariet.

Figur 65. Rejsetiden til nærmeste motorvejstilkørsel med bil for 2005-scenariet.

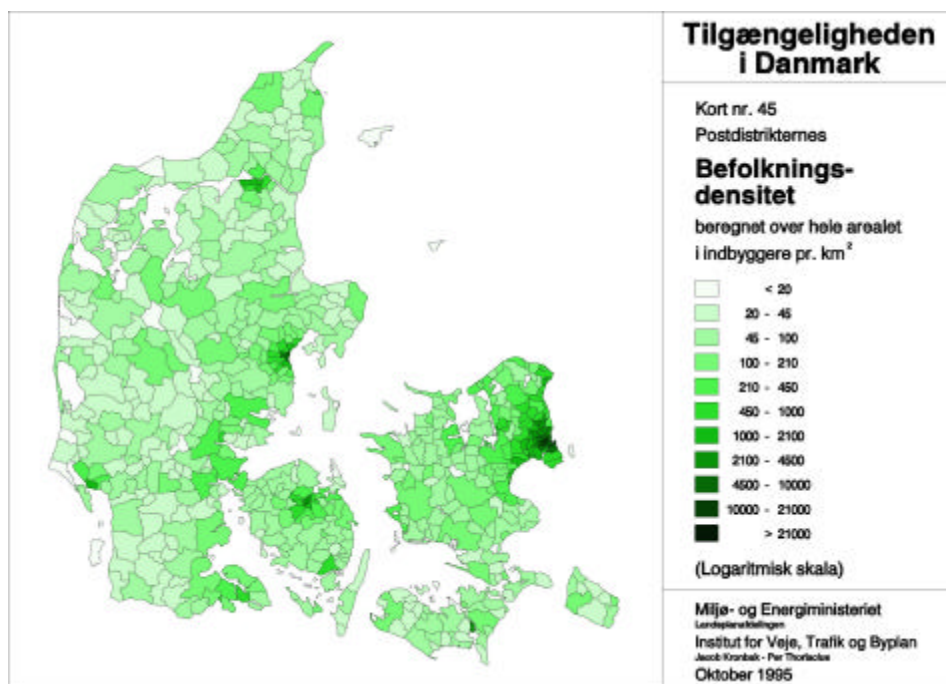


Af Figur 65 fremgår det tydeligt, hvordan udbygningen af det jyske motorvejsnet forbedrer rejsetiden til den nærmeste motorvejstilkørsel for især Vest- og Nordjylland. Nordjylland opnår en dækningsgrad, der ligger helt på højde med Sjælland, mens dækningen forbedres væsentligt i Midtjylland som følge af motorvejene til Esbjerg og Herning³⁸.

Det næste skridt er så, at fastlægge hvordan disse ændringer i rejsetiden til motorvejstilkørsler forholder sig i forhold til befolkningens lokalisering. På Figur 66 er vist befolkningsdensiteten for de enkelte postdistrikter i Danmark.

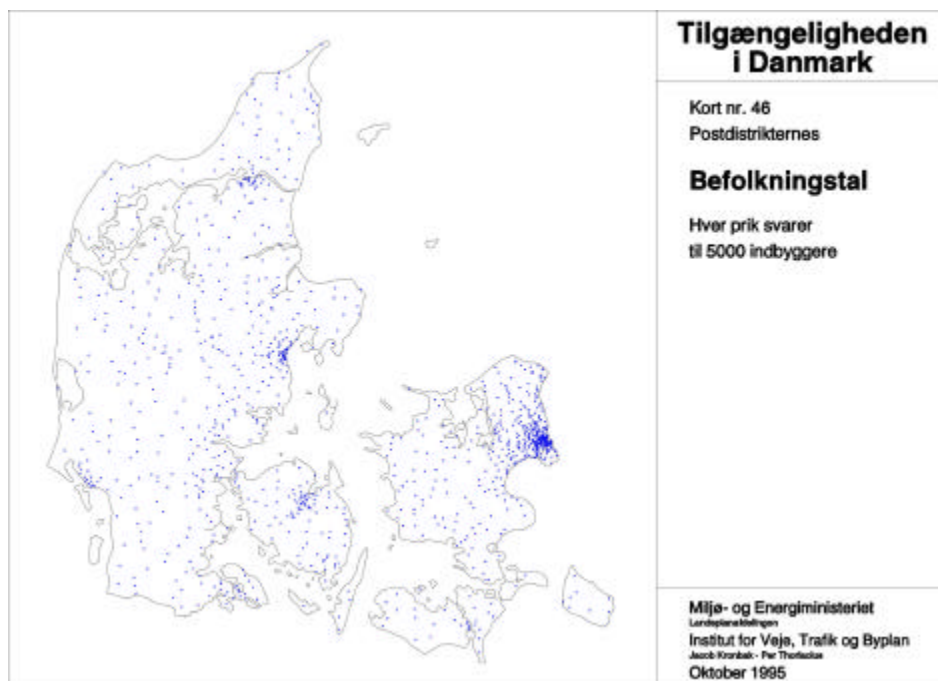
³⁸ Grunden til det "hul" i motorvejslinieføringen der er omkring Silkeborg, som det også kan ses på Figur 52, skyldes at linieføringen i 1995 endnu ikke var fastlagt og der er derfor set bort fra dette stykke motorvej.

Figur 66. Befolkningsdensiteten for de enkelte postdistrikter i Danmark.



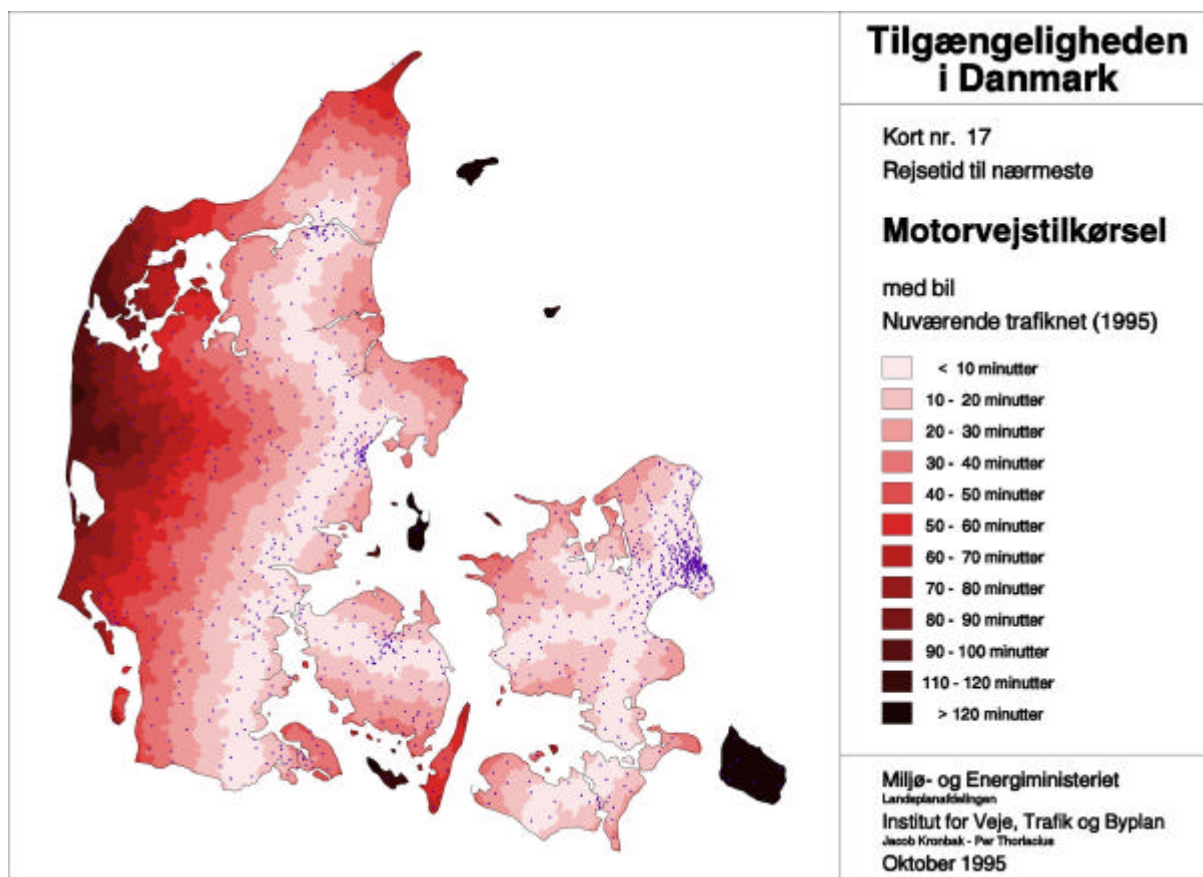
Det ses, ikke overraskende, at befolkningsdensiteterne er størst for de postdistrikter der ligger i de større byområder som f.eks. København, Århus Odense og Aalborg. På baggrund af kortet over densiteten i Figur 66 er befolkningens geografiske fordeling på landsplan interpoleret, som vist i Figur 67.

Figur 67. Befolkningstallet fordelt på postdistrikter.



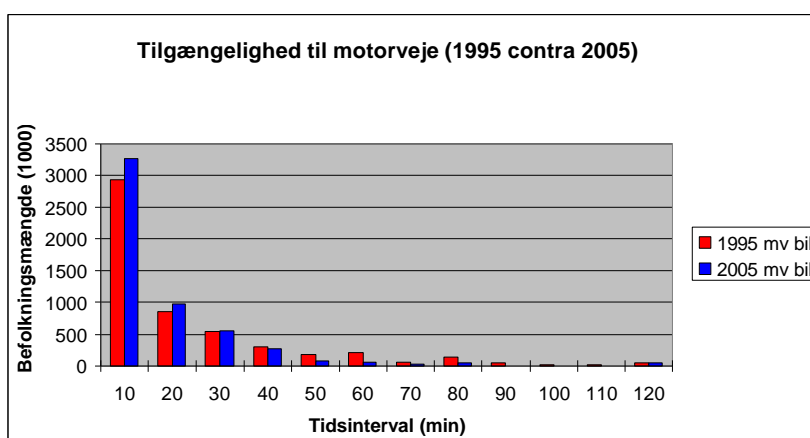
Ved brug af en overlay-analyse (se evt. afsnit 2.4.3) kan den del af befolkning, der bor inden for hver isokron bestemmes. Princippet er vist grafisk i Figur 68 for 1995-scenariet, hvor der er lavet et overlay af Figur 64 på Figur 67.

Figur 68. Befolkningens lokalisering i forhold til adgangen til motorvejsnettet.



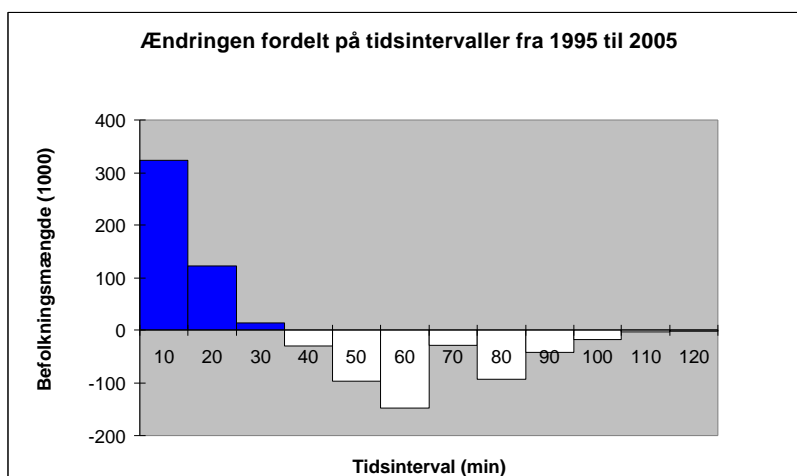
Overlay-analysen er udført for både nutidssituationen i 1995 og for 2005-scenariet og befolkningens fordeling inden for de forskellige tidsintervaller kan ses grafisk i Figur 69.

Figur 69. Tilgængeligheden til motorveje i 1995- og for 2005-scenerierne.



For begge scenarier ses, at langt størstedelen af befolkningen bor inden for 40 minutter fra en motorvejstilkørsel, hvorefter befolkningsmængden falder jævnt for de resterende tidsintervaller. De omkring 50.000 indbyggere i Danmark der har over 120 minutter til en motorvejstilkørsel er overvejende bosat på Bornholm. På Figur 70 er vist ændringen af befolkningens rejsetid til motorvejstilkørsler for nutidssituationen i 1995 i forhold til 2005-scenariet.

Figur 70. Ændringen i adgangen til motorveje fra nutidssituationen i 1995 til 2005-scenariet.



Som det fremgår af grafen, sker der, som følge af udbygningen af det jyske motorvejsnet, en ændring af rejsetiden for en række borgere der før boede mellem 40 og 100 fra en motorvej til at have under 40 minutter til en motorvejstilkørsel. Faktisk er det med disse data muligt at beregne, at der er ca. 461.000 borgere i Danmark, der får kortere rejsetid til en motorvejstilkørsel.

6.2.4 KONKLUSION

Der er i dette afsnit blevet opstillet en model for den topologiske tilgængelighed og modellen er efterfølgende blevet implementeret i et geografisk informationssystem (ARC/INFO). Det er hermed blevet vist, at det er muligt, at anvende geografiske informationssystemer til at beregne og ikke mindst visualisere topologisk tilgængelighed. Samtidig giver brugen af GIS mulighed for at bruge den topologiske tilgængelighed til at foretage andre typer af undersøgelser, som det er illustreret i afsnit 6.2.3.

Men såvel implementeringen som effektvurderingen har samtidig illustreret en række generelle forhold, som man skal være opmærksom på, især hvis man ønsker at anvende kombination af geografiske informationssystemer og modeller for tilgængelighed eller mobilitet i trafikplanprocessen.

Det første forhold kan passende benævnes *Imponator effekten*. Der er ingen tvivl om, at anvendelsen af GIS i trafikplanlægningen har et stort potentiale, især inden for visualiseringen. GIS har imidlertid ikke været anvendt særlig længe inden for trafikplanlægningen og muligheden for at visualisere store datamængder eller beregningsresultater grafisk kan ofte virke meget imponerende. Idet den menneskelige hjerne har nemmere ved at forholde sig til et abstraktionsniveau af former og farver end tal, har en sådan visualisering en stor gennemslagskraft, især over for lægfolk. Det er altså vigtigt, at man som planlægger er i stand til at bevare det faglige perspektiv og ikke lader sig styre af Imponator effekten.

Et andet vigtigt forhold er, at kort der bygger på *Aggregerede* (eller på anden måde behandlede) data ikke umiddelbart giver noget indtryk af datakvaliteten og dermed den nøjagtighed kortet repræsenterer. Effektvurderingen i afsnit 6.2.3 er et oplagt eksempel på denne problemstilling. Visualiseringen af rejsetiden til motorvejstilkørslerne i Figur 64 og Figur 65 virker umiddelbart rimelig nøjagtige. Men selve beregningerne er gennemført på et beregningsnet og idet resultatet aggregeres fra dette net til de isokroner der ses på de to kort, forsvinder alle oplysninger om datagrundlaget fra kortene. Det er således ikke

længere muligt, at se, om beregningerne er foretaget på et netværk med 1000, 10.000 eller 85.000 strækninger.

Problemstillingen med aggregeringen af data er endnu mere udtalt for den aggregering af befolkningensdensiteten i Figur 66 der blev brugt som udgangspunkt for befolkningsdensiteten på landsplan i Figur 67. I dette tilfælde foretages først en disaggregering af en befolkningsdensitet fordelt på en række meget uensartede områder (Figur 66) til et befolkningskort på landsplan. Ser man på Figur 67, uden at kende oprindelsen, giver kortet indtryk af, at være rimelig nøjagtig. På trods af den noget tvivlsomme oprindelse af Figur 67, så blev den anvendt til overlayet i Figur 68 og ud fra denne analyse var det muligt at bestemme effekten på befolkningen helt ned til 1 person! Var man kun blevet præsenteret for Figur 68, Figur 69 og Figur 70 ville det være svært at gennemskue at nøjagtigheden skulle måles i 1.000'er, 10.000'er eller måske i 100.000'er.

En mulighed for at forholder sig til problemet omkring aggregering af data er givet i afsnit 2.5.2 om metadata. Det er ved vurdering af resultaterne ikke nok udelukkende at fokusere på selve kortet, beskrivelsen af oprindelsen (i form af metadata) er mindst lige så vigtig.

I afsnit 6.2.3 postuleres det desuden, at udbygningen af det jyske motorvejsnet har haft stor indflydelse på tilgængeligheden i Danmark, i og med at rejsetiden til motorvejsnettet er forbedret for ca. $\frac{1}{2}$ million borgere. Men det som beregningen er et udtryk for er jo ikke at disse mennesker har fået kortere til de steder de skal hen, de har blot fået mulighed for at bruge en motorvej for at komme dertil. Inden udbygningen af motorvejsnettet kunne de stadig komme rundt i transportsystemet, de var bare begrænset til at køre med 80 km/t i stedet for 110 km/t. Det er altså meget nemt at *overfortolke* den grafiske repræsentation af modelresultaterne og man er tilbøjelig til at være mindre opmærksom på forudsætninger og begrænsninger ved modellerne.

I forbindelse med evaluering af infrastrukturprojekter er den topologiske tilgængelighed ikke specielt simple at anvende, men den egner sig til gengæld fortrinligt til at illustrere f.eks. konkurrenceflader mellem forskellige transportmidler³⁹ eller til håndhævdelse af trafikpolitiske lighedsprincipper.

6.3 AGGREGERET TILGÆNGELIGHED

Som nævnt i afsnit 5.6 skelnes inden for den aggregerede tilgængelighed mellem gravitationsbaserede mål og nyttebaserede mål. Begge mål har deres udgangspunkt i gravitationsmodellen, mens de nyttebaserede tilgængelighedsmål desuden inddrager elementer fra nytteteorien. De gravitationsbaserede tilgængelighedsmål kendes helt tilbage fra [Hansen, W. G. (1959)] og det er også et Hansen indeks (se evt. afsnit 5.6.1) der i denne afhandling anvendes til at illustrere muligheden for implementering i GIS⁴⁰.

6.3.1 OPSTILLING AF EN AGGREGERET TILGÆNGELIGHEDSMODEL

Hansen indekset, eller Hansen tilgængelighedsmålet har en strukturel form som vist i Ligning 17 (gengivet i Ligning 29 herunder).

³⁹ Evt. udbygget til også at inddrage f.eks. prisen i rejsemotstanden.

⁴⁰ En del af de mere praktiske problemstillinger ved implementeringen af Hansen indekset i ARC/INFO er beskrevet i [Reed, T. L. (1996) og Lindegaard, T. & Høgedal, H. J. (1997)].

$$\text{Ligning 29} \quad A_i = \sum_{j=1}^n a_j \cdot e^{-bc_{ij}}$$

hvor A_i er tilgængeligheden for beboerne i lokaliteten i

a_j er aktiviteten i lokaliteten j

$\exp(-bc_{ij})$ er modstandsfunktionen for rejsen mellem lokaliteterne i og j

Specifikation

Som det fremgår af Ligning 29 antages rejsemodstanden at følge en negativ eksponentialfunktion. Formålet med specifikationen er dermed først og fremmest at fastlægge hvordan aktiviteten a_j måles og bestemme modstanden c_{ij} mellem lokaliteterne i og j .

Fra de gravitationsbaserede trafikmodeller kendes en lang række af variable til beskrivelse af det forventede aktivitetsniveau. Hvilke, der anvendes, afhænger i mange tilfælde af den kontekst, som modellen skal anvendes i, men antallet af arbejdspladser, virksomhedstyper, antallet af kontorkvadratmeter osv. er typiske proxy-variable [Nielsen, O. A. (1994)]. På et mere overordnet planlægningsniveau, eller i mangel af data, kan f.eks. populationen anvendes.

Formålet med denne implementering har først og fremmest været at illustrere muligheden for at anvende GIS til beregning og visualisering af tilgængeligheden. På den baggrund er populationen valgt som proxy for aktiviteten a_j , først og fremmest fordi der har været tilgængelige data.

Tilsvarende findes en række variable til beskrivelse af rejsemodstanden. Den hyppigst anvendte er formentlig rejsetiden [Nielsen, O. A. (1994)], som igen kan opdeles i f.eks. køretid, ventetid og skiftetid. De forskellige tidsbidrag kan evt. vægtes således at man i stedet for den faktiske rejsetid anvender vægtede rejsetider. En anden mulighed er, at anvende rejseomkostningen eller evt. vægte en kombination af rejsetid og rejseomkostning til en generaliseret omkostning.

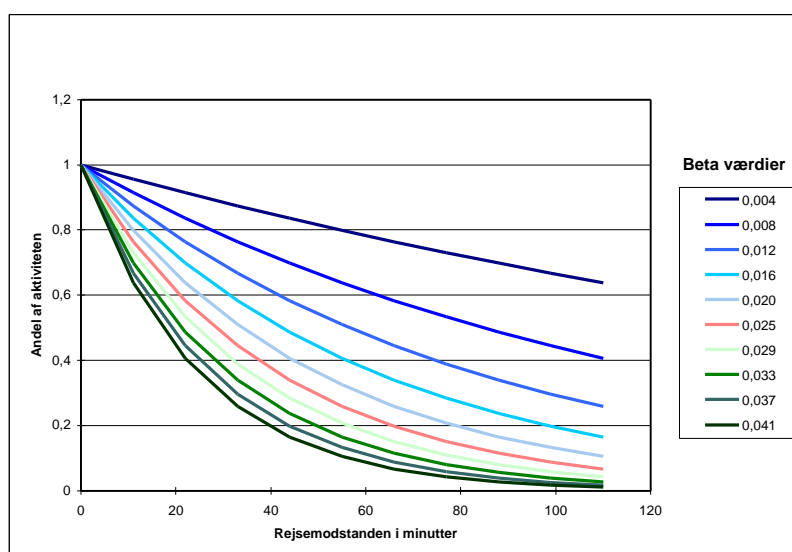
Det beregningsnet, som har været anvendt til implementeringen af Hansen indekset, har udelukkende omfattet den individuelle trafik i form af det danske vejnet som det så ud i 1995. Det betyder at vente og skiftetiderne er begrænset og køretiden i bil anvendes dermed som proxy for rejsemodstanden c_{ij} .

Kalibrering

I modsætning til den topologiske tilgængelighed skal der foretages en kalibrering af Hansen indekset. Som det kan ses i Ligning 29 indgår der i modstandsfunktionen for Hansen indekset parameteren b (se afsnit 5.6.1 for en nærmere beskrivelse af b).

Kalibreringsparameteren for Hansen indekset beskriver individets perception af modstanden og kan dermed fastlægges arbitrært. Denne fastlæggelse kan evt. støttes ved brug af en grafisk fremstilling af aktivitetens afhængighed af b , som illustreret i Figur 71.

Figur 71. Aktivitetens afhængighed af kalibreringsparameteren Beta. Frit efter [Lindegaard, T. & Høgedal, H. J. (1997)].

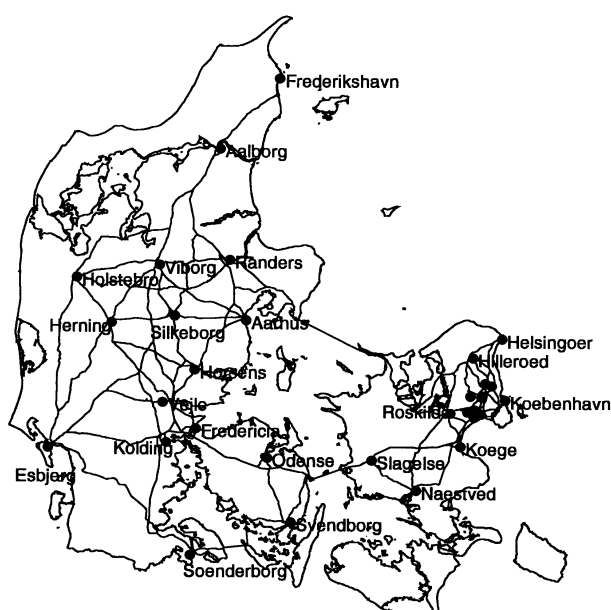


I følge Hansen indekset falder aktiviteten som funktion af afstanden og den valgte beta-værdi. Ønsker man en stærk afstandsafhængighed skal man således vælge en høj værdi for b og ønsker man f.eks. en mere svag afhængighed vælges en lav værdi for b . Hvad der er henholdsvis høje og lave værdier afhænger af enhederne for rejsemodstanden. I denne sammenhæng hvor rejssetiden angives i minutter ligger værdierne af b i intervallet [0,004 – 0,04].

6.3.2 TOLKNING AF DEN AGGREGEREDE TILGÆNDELIGHED

Beregningsnettet til rådighed omfattede det danske vejnet som det så ud i 1995 (se evt. afsnit 6.1 for en nærmere beskrivelse). Af hensyn til beregningstiden, valgtes kun byer med over 25.000 indbyggere, som proxy for aktiviteten. De 31 byer kan ses på Figur 72.

Figur 72. De 31 Aktivitetscentre brugt til udregning af Hansen indekset [Reed, T. L. (1996)].



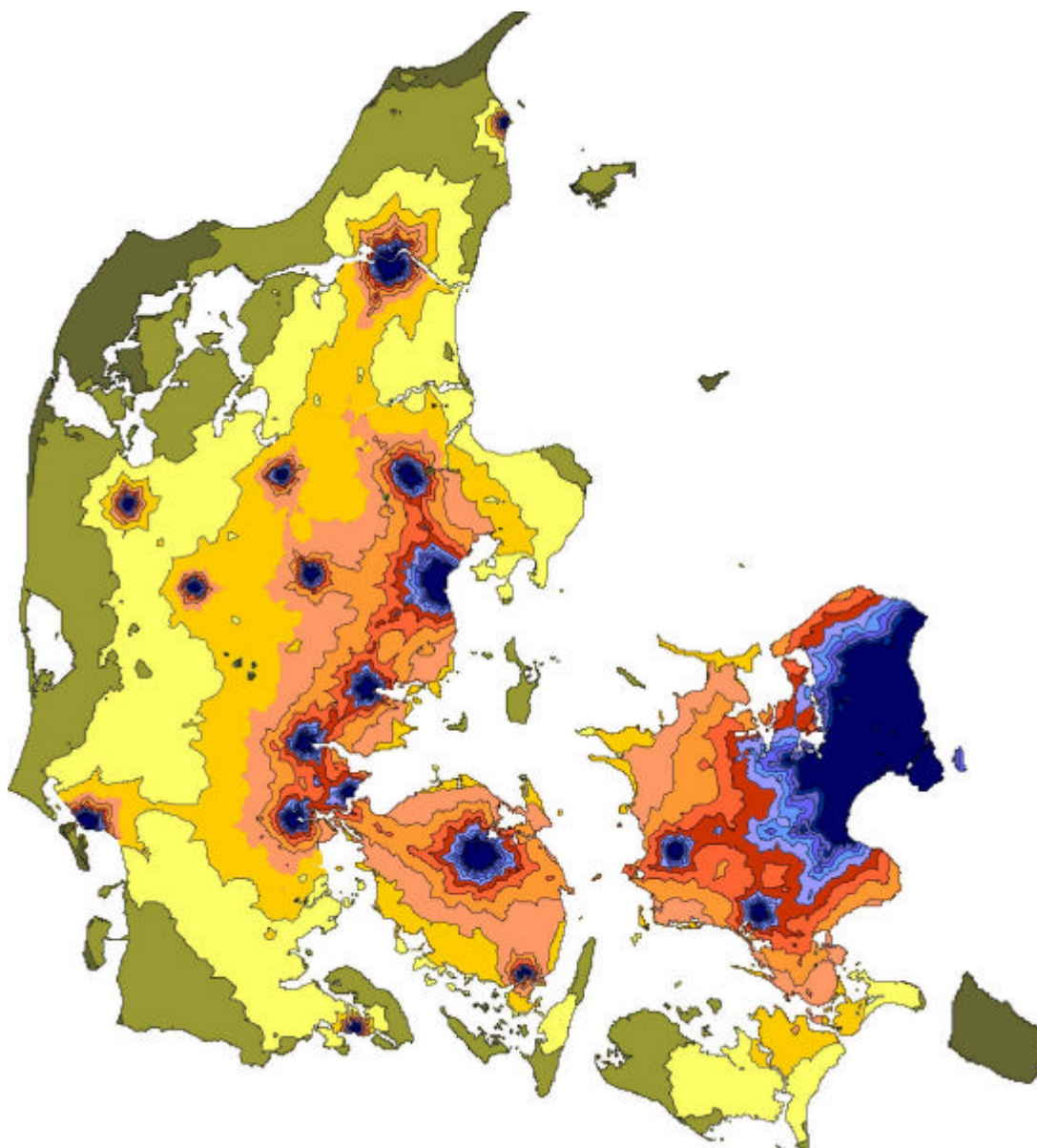
Kalibreringsparameteren blev ved udregningen arbitrært sat til 0,035 og dermed fik Hansen indekset den form som er vist i Ligning 30.

$$\text{Ligning 30} \quad A_i = \sum_{j=1}^n POP_j \cdot e^{-0,035 c_{ij}}, \quad \text{for } POP_j \geq 25.000$$

hvor A_i er tilgængeligheden for beboerne i lokaliteten i
 POP_j er populationen i lokaliteten j (for lokaliteter med mere end 25.000 indbyggere)
 c_{ij} er rejsetiden i bil mellem lokaliteterne i og j

Det udregnede Hansen indeks for Danmark er vist på Figur 73. Af hensyn til illustrationens størrelse er signaturforklaringen udeladt, men mørkeblå angiver de højeste værdier faldende over nuancerne rød, gul og grøn.

Figur 73. Den aggregerede tilgængelighed, i form af et Hansen indeks, for Danmark.



Som det fremgår af Figur 73 er tilgængeligheden, i form af Hansen indekset, høj i hele hovedstadsområdet og omkring de større byer i provinsen.

Der, hvor denne type tilgængelighedsmål adskiller sig mest fra f.eks. den topologiske er modelleringen af attraktionen. I dette tilfælde betyder det, at det ikke længere er underordnet om man f.eks. har 30 minutters rejsetid til København eller 30 minutters rejsetid til Viborg. Dette ses langs E20 over Fyn og op gennem Østjylland hvor der er tydelig interaktion mellem de større byer. Massetiltrækningen mellem lokaliteterne og afhængigheden af attraktionens størrelse ses også tydeligt på Figur 73. F.eks. er Hansen indekset væsentligt større øst for Silkeborg (mod Århus) end vest for Silkeborg (mod Herning).

6.3.3 KONKLUSION

Implementeringen af et gravitationsbaseret tilgængelighedsmål som Hansen indekset i GIS ser ud til at have et lige så interessant perspektiv som implementeringen af isokroner for den topologiske tilgængelighed. Der er selvfølgelig en del af de samme problemstillinger der gør sig gældende, bl.a. *Imponator effekten* og problemerne omkring vurderingen af datakvaliteten i visualiseringen.

Men ellers så adskiller Hansen indekset sig først og fremmest ved vægtingen af aktiviteten og den eksponentiale afstandsafhængighed.

Hvor aktiviteten for den topologiske tilgængelighed blot var et udtryk for adgangen til en servicefunktion, så baseres Hansen indekset på en vægning af aktiviteten. Det betyder, at lokaliteter med høj aktivitet (i dette tilfælde stor population) har en større indflydelse på Hansen indekset for omgivelserne end lokaliteter med lav aktivitet. Dermed vil områder med stor og tæt population blive fremhævet, svarende til, at tilgængeligheden er større for disse områder. Alt andet end lige svare denne vægning formentligt bedre til individets opfattelse af tilgængelighed.

Selve værdisætningen af den eksponentiale afstandsafhængighed kan altid diskuteres, men princippet med at vægte aktiviteten med afstanden kendes fra såvel fysikken som trafikmodeller. Om afstandsafhængigheden skal være eksponential, logaritmisk eller lineær er i sig selv underordnet, det vigtige er erkendelsen af, at afstand (enten som tid eller fysisk afstand) kan virke som en barriere for deltagelsen i aktiviteter.

I forbindelse med anvendelse af det aggregerede tilgængelighedsmål til evaluering i trafikplanprocessen, er der ingen problemer med at aggregere målet op til en enkelt værdi for hele systemet. Det man skal være opmærksom på i den forbindelse er, at denne værdi afhænger af hvordan man har valgt at opbygge sit netværk og beregne tilgængeligheden.

For den nærværende implementering af den aggregerede tilgængelighed, beregnes tilgængeligheden for samtliche knuder i netværket uanset at det kun er et fåtal der har tilknyttet en aktivitet. Denne beregningsmetode betyder, at hvis man udvider sit netværk med en knude vil summen af tilgængelighed i hele systemet stige, svarende til tilgængeligheden i denne knude. Ved brug af denne beregningsmetode til evaluering, skal man derfor være meget opmærksom på ændringer i netværket og den indflydelse ændringerne får på tilgængeligheden i systemet.

6.4 DISAGGREGERET TILGÆNGELIGHED

Opstillingen og implementeringen af et mål for den disaggregerede tilgængelighed adskiller sig lidt fra opstillingen og implementeringen af modeller for den topologiske og den aggregerede tilgængelighed. Grunden til dette er (som nævnt i afsnit 5.7), at de disaggregerede tilgængelighedsmål tager deres udgangspunkt i individets muligheder for at deltage i aktiviteter. Det er vigtigt at lægge mærke til, at det er individets *muligheder* og ikke det faktiske rejsemønster det disaggregerede tilgængelighedsmål baseres på. Dermed nærmer denne type tilgængelighedsmål sig mere til *potentialet* end tilgængeligheden⁴¹.

For ikke at bidrage mere end højst nødvendig til begrebsforvirringen er i denne afhandling valgt at betegne dette potentiale som *strategisk mobilitet*. Mobilitet for at understrege den individbaserede tilgang og strategisk for at markere tilknytningen til tilgængeligheden som i evalueringssammenhæng kan betragtes som et strategisk mål⁴².

I forbindelse med udviklingen og opstillingen af disse mere strategiske modeller kan der, ud over de krav der i forvejen stilles til en tilgængelighedsmodel, opstilles en målsætninger for en tilgængelighedsmodel [APAS/ROAD/3 (1995)]:

- Behovet for udvikling
- Tilgængeligheden til et område eller en region
- Den regionale sammenhæng
- Netværks effekter
- Adgang til perifere områder

Ud over disse målsætninger og de krav der er listet i afsnit 5.4.1 (side 61) blev der i forbindelse med afhandlingen opstillet en række yderligere krav, for at modellen kunne indgå i en vurderingsramme:

- Det skal være muligt at tilpasse modellen til forskellige projekt typer (f.eks. multi-modale projekter og infrastruktur projekter)
- Modellen skal kunne anvendes på forskellige projekt størrelser (f.eks. Store, medium og små projekter)
- Indikatoren skal være invariabel. Det vil sige, at de forklarende variable skal være uafhængige af de projekter og den kontekst målet anvendes i

Alle disse målsætninger og krav er forsøgt opfyldt ved specifikationen af modellen for den strategiske mobilitet⁴³.

6.4.1 OPSTILLING AF EN MODEL FOR STRATEGISK MOBILITET

Da den strategiske mobilitet har sit udgangspunkt i den disaggregerede tilgængelighed, vil det være interessant at se på hidtidige implementeringer af denne type mål. Et eksempel på et kumulativt mål, der har fundet anvendelse inden for den strategiske planlægning kan findes i UTS-studiet⁴⁴ [Chatelus, G. & Uljed, A. (1995)].

⁴¹ Se evt. Figur 34 afsnit 5.2 side 51 for sammenhængen mellem tilgængeligheden og potentialet..

⁴² Se bl.a. [EUNET (1997)].

⁴³ For en nærmere diskussion af problemstillingerne ved opstilling af denne type modeller til evalueringsframeworks se evt. [EUNET (1997)].

⁴⁴ Union Territorial Strategies linked to the Trans-european Transportation Networks.

Det overordnede formålet med dette studie var at "... identificere og undersøge nøglespørgsmål indenfor transport og planlægning med potentiel rumlig indflydelse (som f.eks. multimodalitet, Sammenhæng mellem transportnetværk på forskellige niveauer, alternative styringsstrategier...)" [Chatelus, G. & Uljed, A. (1995)].

Dermed var målet for UTS-studiet, at "give kvantitative modeller for den rumlige indflydelse TETN⁴⁵ ville havde på konkurrenceforholdene, sammenhængen og bæredygtigheden, med eksplicit fokus på deres afhængighed af nøglespørgsmål i transportplanlægningen."

For at kvantificere disse mål blev opstillet en tilgængelighedsmodel med tid og population som afhængige variable. Tilgængelighedsmodellen skulle udtrykke sammenhæng og fik navnet CON(T)⁴⁶.

CON(T) indikatoren for en lokalitet i er defineret som summen af den eksisterende population P_j i enhver knude ($j=1... N$), som kan nås for tiden $t_{ij} < T_0$. t_{ij} er den kortest mulige rejsetid fra i til j ved brug af den kortest mulige multimodale kæde inklusiv alle skiftetider. Tiden t_{ij} er en sum af rejsetid t_V , ventetiden t_W og skiftetiden t_k , som det fremgår af Figur 57 side 88. T_0 var i UTS-studiet sat til 3 timer svarende til en evaluering af en rundrejse foretaget på en arbejdsdag. CON(T) kan ses i Ligning 31.

$$\text{Ligning 31} \quad CON_i(T_0) = \sum_{j=1}^N P_j \quad \text{for } t_{ij} \leq T_0 = 3 \text{ timer}$$

Hvor T_0 er den maksimale rejsetid
 P_j er populationen i lokaliteten j
 t_{ij} er rejsetiden mellem lokaliteterne i og j

I UTS-studiet kan tilgængeligheden altså tolkes som et mål for den menneskelige kontaktflade.

Specifikation

Der er en række fordele ved at anvende populationen som udtryk for aktiviteten ved modellering af strategisk mobilitet.

- Populationen kan, til en vis grad, tages som proxy for den rumlige fordeling af aktiviteter
- Population er en simpel additiv størrelse, hvilket betyder at den kan tilpasses aggregeringsniveauet for det projekt der undersøges
- Population er en relativt stabil størrelse
- Populations data er normalt relativt nemt at få fat i
- Brugen af population til beskrives af aktiviteten er relativt simpel at forstå, selv for lægfolk

Samtidig er der en række fordele ved at bruge den multimodale rejsetid som transportelementet i modelleringen af strategiske mobilitet.

⁴⁵ TENT = Trans-european Transportation Networks.

⁴⁶ Indicator of CONnectivity.

- Den multimodale rejsetid (som den er anvendt i UTS-studiet og vist i Figur 57) inkluderer den tid, der bruges på skift mellem transportmidler. Det betyder, at en model baseret på denne rejsetid også vil kunne bruges til at evaluere ændringer i intermodale skift.
- Ved at anvende den korteste rejsetid vil det stadig være muligt at udføre både evalueringer af de enkelte transportmidler og mere sammenhængende evalueringer af rejser baseret på brug af hele transportsystemet.

Det leder til den konklusion, at brugen af populationen som aktivitetselement og den multimodale rejsetid som transportelementet for en model til beskrivelse af den strategiske mobilitet ikke vil være i strid med de krav der stilles til målet.

Tilgængelighedsmålet CON(T) fra UTS-studiet er brugt som udgangspunkt for opstillingen af det strategiske mobilitetsmål. Indikatoren for den strategiske mobilitet er kaldt POINTER⁴⁷.

POINTER indekset for en lokalitet i er defineret som produktet mellem den totale population P_j i lokaliteten j og det tidsrum der er tilgængelig for interaktion (eller kontakt) i denne lokalitet. De lokaliteter ($j=1... N$) der kan nås bestemmes ved at fastlægge et tidsrum T_I der er til rådighed for at udføre interaktionen ud af en tilgængelig tidsramme T_A . T_A kan sættes til et vilkårligt tidsrum for at evaluere rentable ture med T_I som den mindst acceptable interaktionstid. Den kortest mulige rejsetid gennem transportsystemet t_{ij} dækker over den tid det tager at komme fra lokaliteten i til lokaliteten j ved brug af den korteste multimodale kæde inklusiv alle skiftetider. POINTER indekset er angivet i Ligning 32.

$$\text{Ligning 32} \quad \text{POINTER}_i(T_A, T_I) = \sum_{j=1}^N P_j (T_A - 2 \cdot t_{ij}); \quad \text{for } t_{ij} \leq \frac{T_A - T_I}{2}$$

Hvor T_A er den tilgængelige tidsramme
 T_I er den mindst acceptable interaktionstid
 P_j er populationen i lokaliteten j
 t_{ij} er rejsetiden mellem lokaliteterne i og j

Tiden t_{ij} er summen af rejsetiden t_V , ventetiden t_w og skiftetiden t_k som illustreret på Figur 57. For $T_A = T_I + 2 \cdot t_{ij}$ bliver den mulige kontakttid lig T_I . En reduktion i rejsetiden vil medføre en tilsvarende stigning i tidsrummet til kontakt.

Den basale forskel mellem CON(T) tilgængelighedsmålet og POINTER indekset er den måde hvorpå potentialet for interaktion behandles. Hvor CON(T) summer antallet af individer inden for en given tidsgrænse, tager POINTER indekset også højde for den tid det er muligt at tilbringe med disse individer.

Kalibrering

Der er, som for den topologiske tilgængelighed, i virkeligheden ikke tale om en kalibrering af den strategiske mobilitet i traditionel forstand. Kravet om at målet skal være invariabelt betyder nemlig, at det ikke må indeholde parametre, der skal kalibreres. I stedet kræves, en stillingtagen til hvilken interaktionstype indikatoren skal bruges til at beskrive. Det gøres

⁴⁷ P*o*tential I*n*TERaction.

ved at bestemme passende værdier for T_A og T_I . Hvis man anvender en 3 timers grænse for rejsetiden som i UTS-studiet vil det f.eks. svare til $T_A = 8$ timer og $T_I = 2$ timer. Denne interaktionstype vil svare til f.eks. muligheden for at deltage i et 2 timers møde i løbet af en 8 timers arbejdsdag.

Enheden på POINTER indekset vil altid være mandtimer og målet af de potentielle kontakt timer vil være knyttet til den enkelte lokalitet i .

6.4.2 TOLKNING AF DEN STRATEGISKE MOBILITET

Implementeringen af POINTER indekset i GIS er baseret på en forsimpning af de to scenarier der også illustrerede den topologiske tilgængelighed: et Færgescenario og et scenario for Storebæltsbroen. For ikke at inddrage for mange elementer i undersøgelsen af modellen for strategisk mobilitet, er den eneste forskel mellem disse to scenarier etableringen af den faste forbindelse over Storebælt. Beregningsgrundlaget for Færgescenariet har været det bilnetværk for 1995-scenariet, som det er beskrevet i afsnit 6.1. Scenariet for Storebælt er lavet ved at fjerne alle færgef forbindelser over Storebælt og erstatte dem med Storebæltsbroen.

Den totale tidsramme T_A er sat til 10 timer og interaktionstiden T_I til 4 timer, svarende til hvad der kunne betegnes som et møde, afholdt inden for en enkelt arbejdsdag. Dermed får POINTER indekset den udformning der er vist i Ligning 33.

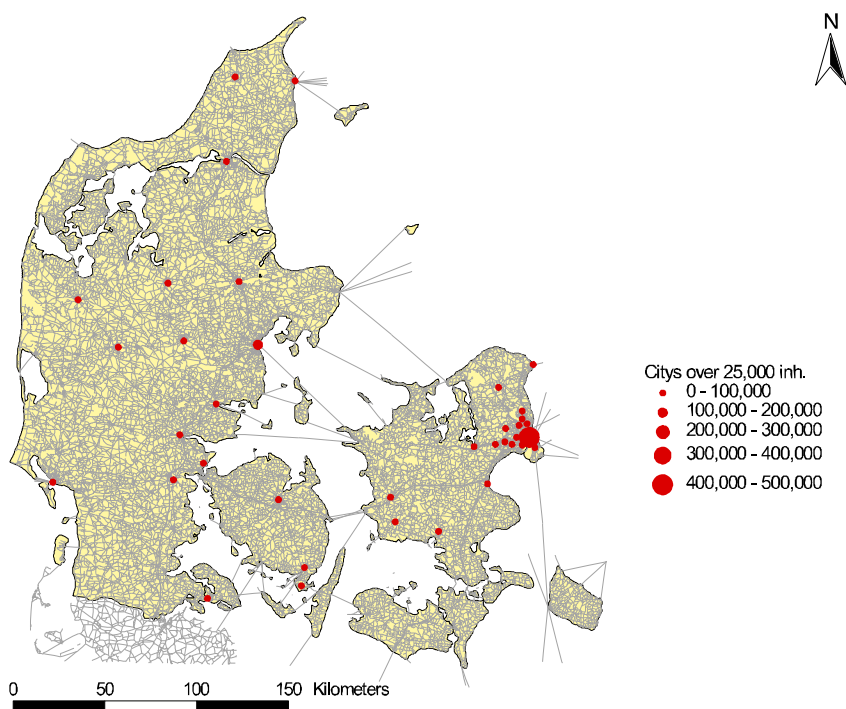
$$\text{Ligning 33} \quad \text{POINTER}_i(10,4) = \sum_{j=1}^N P_j (10 - 2 \cdot t_{ij}); \quad \text{for } t_{ij} \leq 3$$

Hvor t_{ij} er rejsetiden mellem lokaliteterne i og j

Af hensyn til dataindsamlingen, er opgørelsen af populationen begrænset til de 38 byer i Danmark, med mere end 25.000 indbyggere. Trafiknettet og de 38 aktivitetscentre er vist på Figur 74⁴⁸.

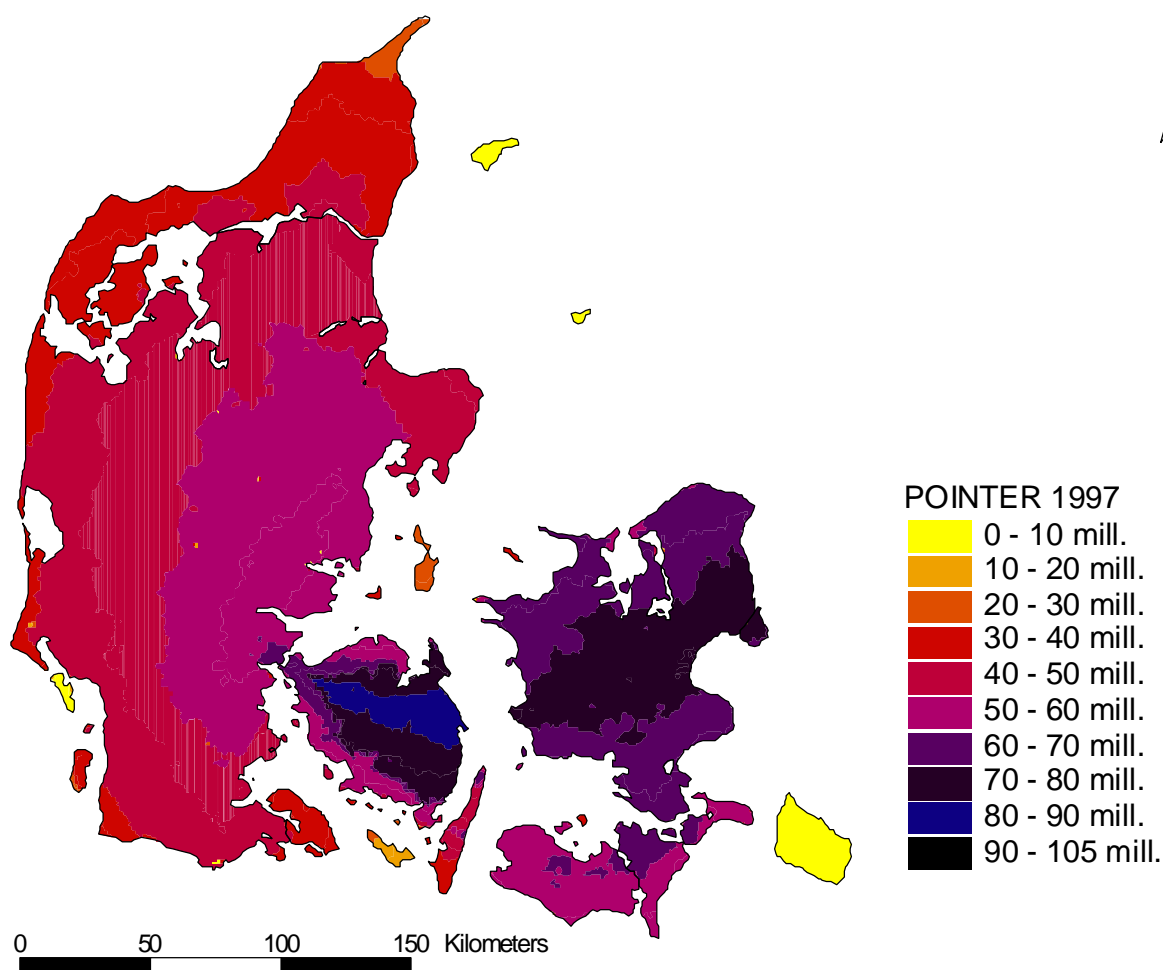
⁴⁸ Illustrationerne har været anvendt i forbindelse med EUNET projektet [EUNET (1997)], hvilket forklarer den engelske tekst.

Figur 74. Trafiknettet brugt til beregning af POINTER indekset. De 38 aktivitetscentre er markeret med rødt og ved brug af relativ størrelse [EUNET (1997)].



Beregningen af POINTER indekset tager udgangspunkt i hver af de 63.000 knuder der er i trafiknettet. Rejsetiden (og dermed den mulige kontaktid) til hver af de 38 centre beregnes og de centre der kan nås på under 3 timer bidrager til beregningen af potentialet. Dermed fås en geografisk fordeling af POINTER indekset som illustreret på Figur 75⁴⁸.

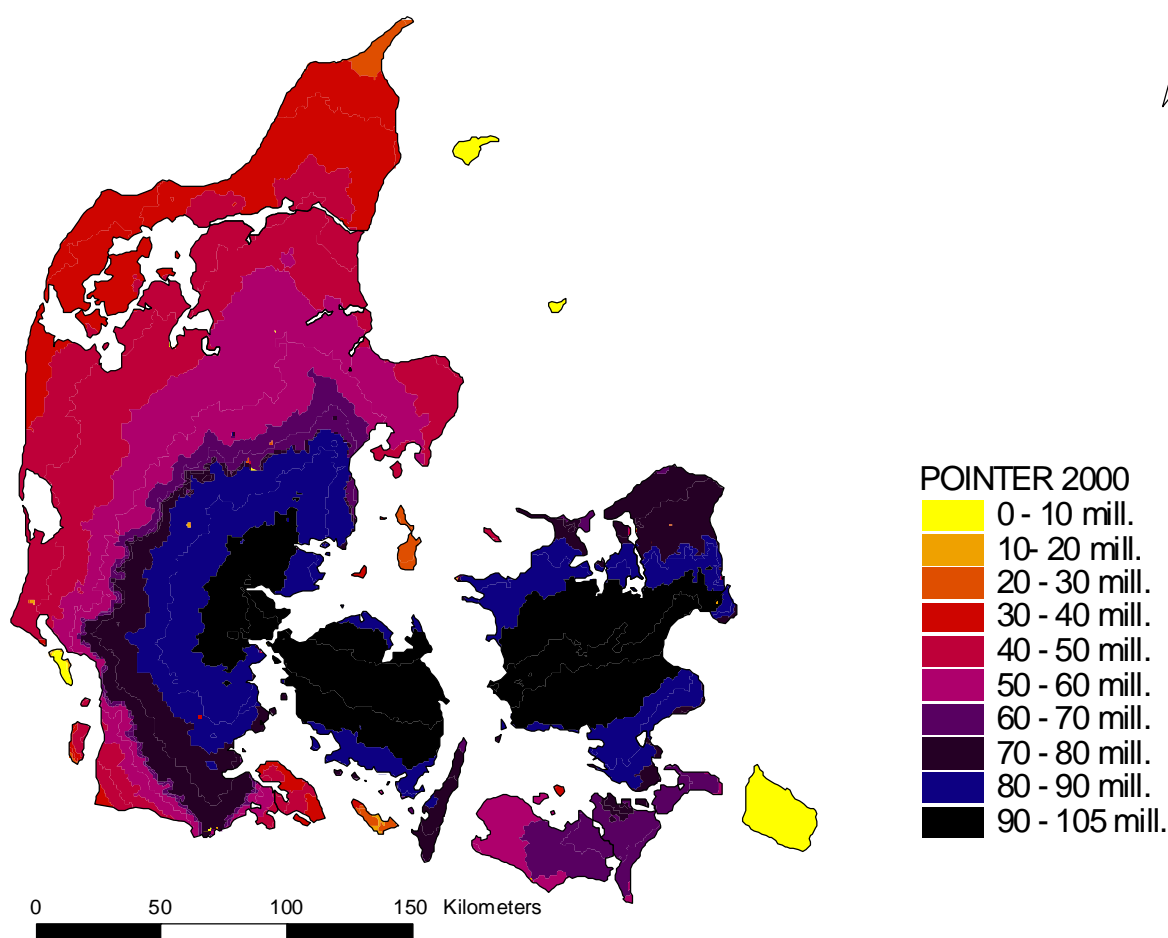
Figur 75. PONTNER indekset for Færgescenariet (PONTNER 1997). Enheden er potentielle kontakttimer per dag.



Der fremgår et par interessante forhold af Figur 75. Som det ses går der et "bånd" af potentiale fra København langs E20 ned over Sjælland til Storebælt og videre hen over Fyn mod Jylland. Generelt er potentialet højt på hele Sjælland, men det højeste potentiale for interaktion findes faktisk på Fyn. Med $T_A = 10$ og $T_I = 4$ bliver den maksimale rejsetid 3 timer. Det betyder, at man på Fyn, på grund af den centrale geografiske placering, har mulighed for at nå til de fleste aktivitetscentre i Jylland og centrene i Københavnsområdet. Den meget store indflydelse som aktivitetscentre i Københavnsområdet har på potentialet på Fyn ses tydeligt når E20 nærmer sig Lillebælt. Fra at have ligge på landets højeste niveau falder potentialet flere niveauer over ganske få kilometre.

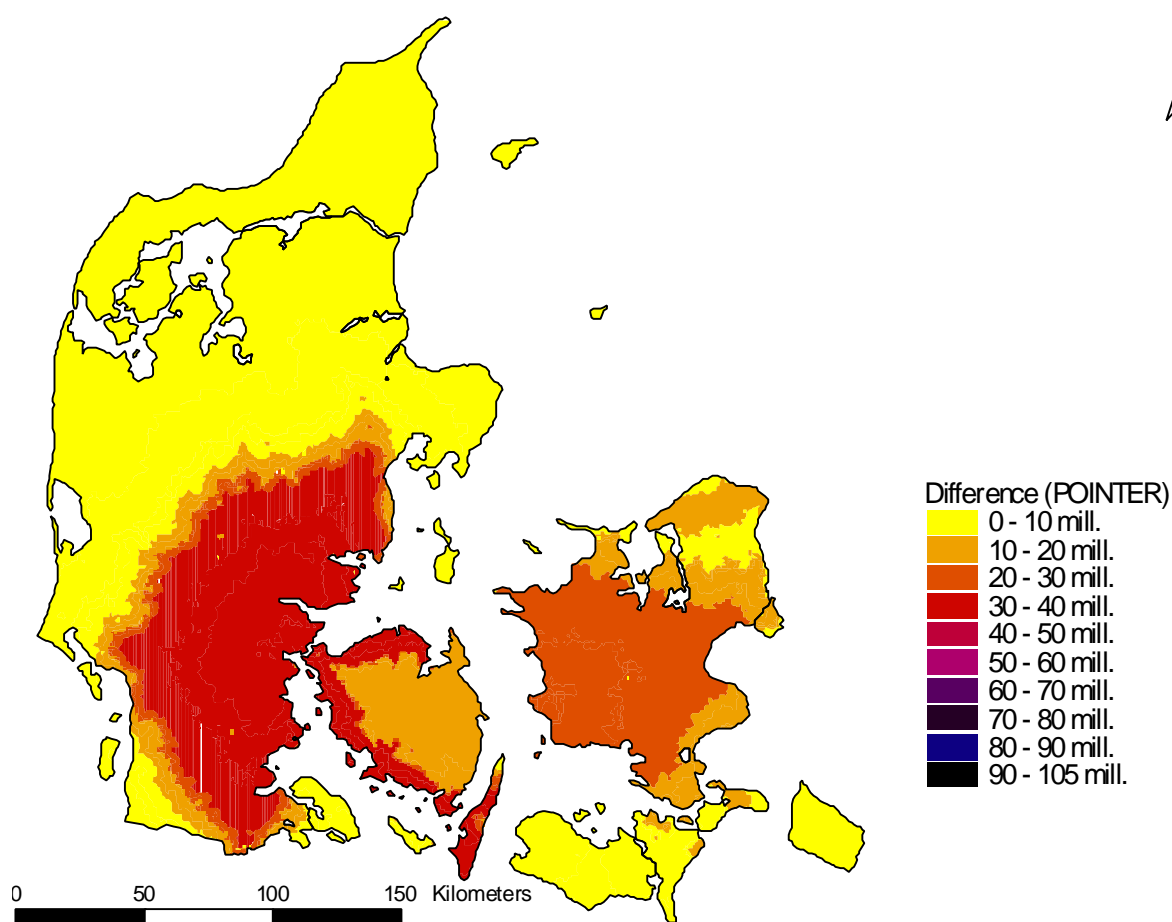
Den geografisk fordeling af PONTNER indekset for Storebæltscenariet er illustreret på Figur 76⁴⁸.

Figur 76. POINTER indekset for Storebæltscenariet (POINTER 2000). Enheden er potentielle kontakttimer per dag.



Som det fremgår af Figur 76 giver etableringen af den faste forbindelse over Storebælt anledning til stor geografisk ændring af de potentielle kontakttimer. Hvor den maksimale kontaktflade før lå på Fyn, spreder den sig nu også ud over store del af Sjælland og en lille del af Jylland. Denne ændring skyldes at rejsetiden over Storebælt er faldet med ca. 60 minutter (se afsnit 6.2.2) som følge af etableringen af den faste forbindelse. Det betyder, at muligheden for at nå til aktivitetscentrene i Københavnsområdet er flyttet fra den vestlige del af Fyn til Midtjylland og samtidig er det blevet muligt at nå en del af de Østjyske aktivitetscentre fra store dele af Midtsjælland. Eftersom summen af aktivitet er den samme og der kun er sket ændringer af rejsetiden i transportsystemet er det muligt at lave et differenskort mellem de to scenarier. Dette kort er vist på Figur 77⁴⁸.

Figur 77. Differencen mellem POINTER indekset for Færgescenariet og POINTER indekset for Storebæltscenariet. Enheden er potentielle kontakttimer per dag.



Derved afsløres det, at den største stigning i de potentielle kontakttimer opnås i de østlige dele af Midt- og Sønderjylland, men at der også sker store forbedringer for Midt- og Vestsjælland. På Figur 77 fremgår det endnu tydeligere, at stigningen i Midt- og Sønderjylland først og fremmest skyldes muligheden for at nå til aktivitetscentrene i Københavnsområdet, mens stigningen på Midt- og Vestsjælland skyldes muligheden for at nå de østjyske aktivitetscentre. Lidt mod forventningen opnår selve Københavnsområdet ikke den store stigning i potentialet som følge af den faste forbindelse.

6.4.3 KONKLUSION

Brugen af geografiske informationssystemer til at beregne og ikke mindst visualisere den strategiske mobilitet har et interessant perspektiv. Ud over de krav der blev stillet til de to tilgængelighedsmodeller opfyldte modellen for den strategiske mobilitet en række yderligere krav, for bedre at kunne anvendes i evalueringen af infrastrukturprojekter.

Men, som for de to andre typer af mål, er der bestemt også en række forhold, som man skal være opmærksom på. *Imponator effekten* er stadig til stede og problemet med at kortet "skjuler" aggregeringsniveauet og nøjagtigheden af de anvendte data er det samme som for de øvrige kortillustrationer.

Samtidig er der også for POINTER indekset rig mulighed for at overfortolke den grafiske visualisering. I afsnit 6.4.2 kan man blive foranlediget til at tro, at etableringen af den faste forbindelse over Storebælt vil gavne befolkningen i den vestlige del af Midt- og Sønder-

jylland og på Midt og Vestsjælland. Men kortene viser blot en stigning i potentialet for den rejsetype modellen for den strategiske mobilitet var opstillet for og ikke andet. Hvis alle rejser over Storebælt havde til formål at deltage i 4 timers interaktion i løbet af en 10 timers tidsramme, så var konklusionen rigtig, men det er formentlig en forholdsvis begrænset del der er det. Dermed skal man ikke afvise at anvende denne type mål, men skal blot være meget opmærksom på, hvad det i virkeligheden er man beregner og visualisere og tolke det derefter.

Ved anvendelse af POINTER indekset til evaluering, er det omtrentlig de samme forhold som for det aggregerede tilgængelighedsmål der gør sig gældende. POINTER indekset kan også aggregeres til en enkelt værdi for hele systemet, men denne værdi er afhængig af netværksopbygningen.

Fælles for både det aggregerede og det disaggregerede tilgængelighedsmål er desuden, at værdisætningen af begge mål er forholdsvis arbitrær. Da denne type mål ikke tidligere har været anvendt i trafikplanprocessen findes der ikke umiddelbart nogen værdisætning at sammenligne med. For at vurdere størrelsesorden af en sådan værdisætning kan man dog foretage en simpel udregning af omkostningen for at tilvejebringe en stigning i tilgængeligheden. Summen af potentielle kontakttimer i transportsystemet, udregnet ved brug af POINTER indekset i afsnit 6.4, kan ses i Tabel 5.

Tabel 5. Summen af POINTER indeks værdierne for de to scenarier fra afsnit 6.4 i potentielle kontakttimer.

	Færgescenariet	Storebæltscenariet	Stigning
POINTER værdi	32.601 milliarder	41.494 milliarder	8.893 milliarder

Budgettet for Storebæltsforbindelsen lå omkring 21 milliarder, hvilket giver et forhold mellem omkostningen og potentielle kontakttimer på ca. 2,36 Dkr. per 1000 potentielle kontakttimer.

6.5 SAMMENFATNING

Implementeringen af de tre typer af tilgængelighedsmål i GIS har henledt opmærksomheden på en række interessante forhold.

For det første er det vist, at det er muligt at operationalisere tilgængeligheden, således at den kan modelleres, beregnes og ikke mindst visualiseres i et geografisk informationssystem. Navnlig visualiseringen give helt nye muligheder for at lave rumlige vurderinger for konsekvenserne af f.eks. større infrastrukturinvesteringer.

Implementeringen gav desuden anledning til, at beskrive en række forhold som man skal være særlig opmærksom på ved brug af GIS, først og fremmest i forbindelse med visualisering og tolkning.

- *Imponator effekten*, modelberegninger ser meget imponerende ud grafisk.
- *Kortet skjuler nøjagtigheden*, ved visualiseringen er det ikke umiddelbart muligt at se nøjagtigheden på det anvendte datamateriale eller hvordan det er aggregeret..
- *Kortet viser ikke forudsætningerne for modellen*. Det fremgår ikke af et kort om modellens forudsætninger i det hele taget har været opfyldt.

Det er altså meget nemt at *overfortolke* den grafiske repræsentation af modelresultaterne og man er tilbøjelig til at være mindre opmærksom på forudsætninger og begrænsninger ved modellerne. For at mindske denne risiko er det nødvendig altid at forholde sig til de metadata der bør ledsage enhver anvendelse af geografiske informationssystemer.

De modeller der er opstillet i dette kapitel har alle det til fælles, at transportsystemets effektivitet bliver modeleret ud fra rejsetiden gennem systemet. En fordel i forhold til den multimodale trafikplanproces er, at det er modellen underordnet hvilket transportmiddel der anvendes, det er kun det tidsrum der anvendes på selve rejsen, der er interessant. Det betyder, at hvis de opstillede mål skal kunne anvendes i en multimodal trafikplanproces, skal den multimodale modellering ligge i selve opbygningen af transportnetværket. Derved er modellerne de samme uanset hvordan man vælger at udføre denne modellering. Dette er yderlige en styrke ved de opstillede modeller, især set i lyset af, de mange forskellige måder (se kapitel 3), hvorpå den multimodale modellering af transportnetværket kan foregå.

På trods af de nævnte forbehold må brugen af GIS til beregning og visualisering af tilgængelighed betegnes som et muligt multimodalt planlægningsværktøj, især i forbindelse med evaluering af større infrastruktur investeringer.

7. KORRIDORMODELLER

Intentionen med denne del af afhandlingen er, at undersøge mulighederne for at anvende geografiske informationssystemer som et værktøj til planlægningen af transportkorridorer.

Formålet med undersøgelsen har dels været, at foretage en vurdering af, hvorledes oplysninger der er tilgængelige i digital form (som f.eks. arealanvendelsen) kan anvendes til at styrke planlægningen af transportkorridorer og dels, at opstille et forslag til en strukturel form for et værktøj til korridorplanlægning. Et sådan værktøj til planlægning af transportkorridorer kan også ses omtalt som en korridormodel.

En korridormodel adskiller sig fundamentalt fra de konsekvensmodeller der tidligere er gennemgået i denne afhandling, idet den kan opfattes som en hybrid mellem konsekvensmodellerne og selve trafikplanprocessen. En korridormodel rangerer således på et højere planlægningsniveau end konsekvensmodellerne, idet konsekvensmodellerne indgår som en del af en korridormodel, mens det samtidig er nødvendigt at inddrage dele af trafikplanprocessen for at få en operationel korridormodel. Denne sammenhæng vil blive nærmere behandlet i afsnit 7.2, der præsenterer forslaget til den strukturelle form for COPE⁴⁹ korridormodellen.

Kapitlet indledes dog med en kort introduktion til brugen af raster GIS og med det som baggrund gennemgås et eksempel på en tidligere implementering af en korridormodel i GIS [Kjems, E. (1996)]. Kapitlet afsluttes med et eksempel på anvendelsen af COPE prototypen til planlægning af en korridor for en højhastighedsbane⁵⁰ fra Ringsted til Rødby i afsnit 7.3 og en konklusion i afsnit 7.4.

7.1 BRUGEN AF GIS TIL KORRIDORPLANLÆGNING

Som gennemgået i afsnit 2.2 eksisterer der to fundamentale måder at repræsentere data på i GIS, nemlig raster og vektor. Dette afsnit vil således give en supplerende introduktion til datamodelleringen i raster GIS. Desuden vil der i afsnit 7.1.2 blive gennemgået et eksempel på en tidligere implementering af en korridormodel i GIS.

7.1.1 DATAMODELLERING I RASTER GIS

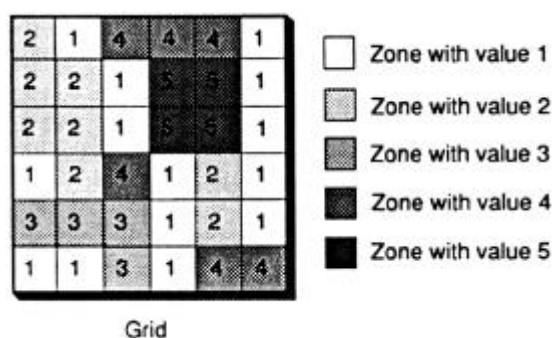
Dette afsnit giver en kort introduktion til nogle af de funktionaliteter, der er knyttet til raster GIS⁵¹. En rasterflade kaldes også et grid og består af celler arrangeret i rækker og søjler. Hver celle er tildelt en værdi til identifikation eller beskrivelse af den klasse, kategori eller gruppe, som cellen tilhører i det lag som gridet beskriver. Normalt vil man have flere celler med den samme værdi og disse celler vil dermed tilhøre den samme zone [ESRI (1991B)]. Et eksempel på et sådan grid kan ses i Figur 78.

⁴⁹ COrridor Planning and Evaluation.

⁵⁰ Også kaldet HST for High Speed Train.

⁵¹ I dette tilfælde ARC/INFO. For en mere omfattende gennemgang se f.eks. [ESRI (1991B)].

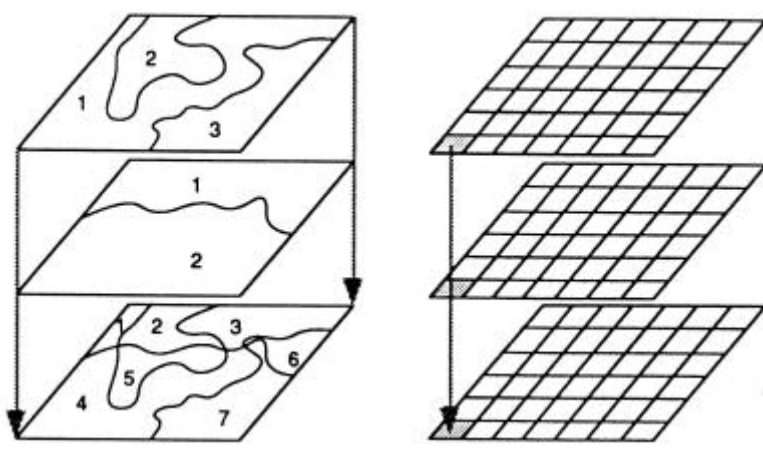
Figur 78. Zone modellering i raster GIS (ARC/INFO) [ESRI (1991B)].



Værdierne for de forskellige zoner repræsenterer de forskellige objekter i laget f.eks. vegetation eller jordbundstyper.

Som nævnt tidligere er en af fordelene ved at anvende raster GIS til modelleringen muligheden for at lave *overlay*. I Figur 79 kan ses et eksempel på repræsentationen i raster og vektor og de respektive overlay.

Figur 79. Vektor (til venstre) og raster (til højre) repræsentation af data og eksempel på overlay funktion [ESRI (1991A)].



Som det kan ses på Figur 79, er vektor overlayet (til venstre) mere komplekst at beregne, idet skæringerne mellem objekterne i hvert af datalagene skal findes og ud fra disse skal objekterne i det kombinerede lag dannes. Til sammenligning, så er overlayet i raster repræsentationen et spørgsmål om simpel algebra, idet cellerne er placeret direkte over hinanden og kan summeres direkte.

De to input grid i Figur 79 kunne repræsentere en værdisætning af f.eks. bygninger og arealanvendelsen. Det resulterende overlay, dannet ved en summation, vil dermed vise den kombinerede værdi af bygningerne og arealanvendelsen. Dette grid kan så anvendes til at finde den "billigste vej" fra en vilkårlig lokalitet til en vilkårlig lokalitet inden for området. Operationer med at producere det resulterende grid i GIS er rimlig simpel.

Denne metode er anvendt i det eksempel på hvordan GIS allerede har været anvendt til korridorplanlægning, der gennemgås i afsnit 7.1.2.

En direkte sammenligning mellem raster og vektor repræsentationen i GIS afslører en række fundamentale og funktionelle forskelle, som vist i Tabel 6.

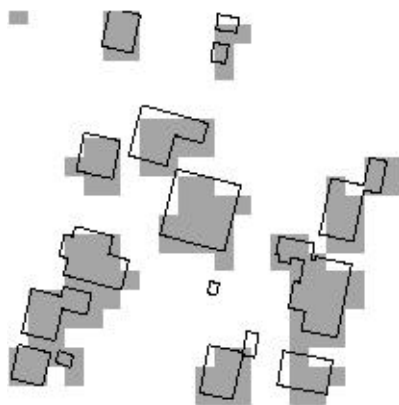
Tabel 6. Sammenligning af vektor og raster repræsentation i GIS [ESRI (1991A)].

	Vektor	Raster
Baseret på	Objekter	Celler
Repræsentation	Repræsenterer objekternes form nøjagtigt	Er kvadratiske og dermed mere generaliserede
Begrænsning	Veldefineret	Generaliserede
Overlay	Sofistikerede og komplekse	Ekstrem simple og hurtige at beregne
Lagerplads	Kravet til lagerplads afhænger af mængden af data og er mere eller mindre uafhængig af data kvaliteten	Kravet til lagerplads afhænger direkte af størrelsen på det område der undersøges og den valgte datakvalitet
Repræsentation i lageret	X,Y koordinater	Rækker og kolonner af celle-værdier
Transformerering	Transformerering fra vektor til raster er forholdsvis simpel	Transformereringen fra raster til vektor af især lineære objekter er temmelig kompleks og kræver en række sofistikerede operationer
Modellering	Er velegnet til modellering af lineære objekter som f.eks. trafiknetværk	Er velegnet til modellering af kontinuerne rumlige objekter som f.eks. arealanvendelse

I forbindelse med et værktøj til korridorplanlægning er det især fordelagtigt ved at anvende raster GIS til overlay og modellering af sammenhængende rumlige objekter der er interessant.

På trods af, at raster GIS ser ud til at være velegnet til korridorplanlægning er der nogle vigtige forhold man skal være opmærksom på. Mange data er kun tilgængeligt i vektor repræsentation og vil skulle transformeres til raster inden det kan bruges i en rasterbaseret korridormodel. Problemet ved denne transformering er et tab af nøjagtighed afhængig af nøjagtigheden i vektor repræsentationen og raster størrelsen. Langt de fleste transformeringer vil betyde en aggregering af de originale vektor data. For at illustrere dette, er på Figur 80 vist et eksempel på et af de problemer, der kan opstå ved transformering af bygninger, der er repræsenteret i vektor repræsentation til raster repræsentation.

Figur 80. Et eksempel på transformering af bygninger i vektor repræsentation til raster repræsentation [Kjems, E. (1996)].



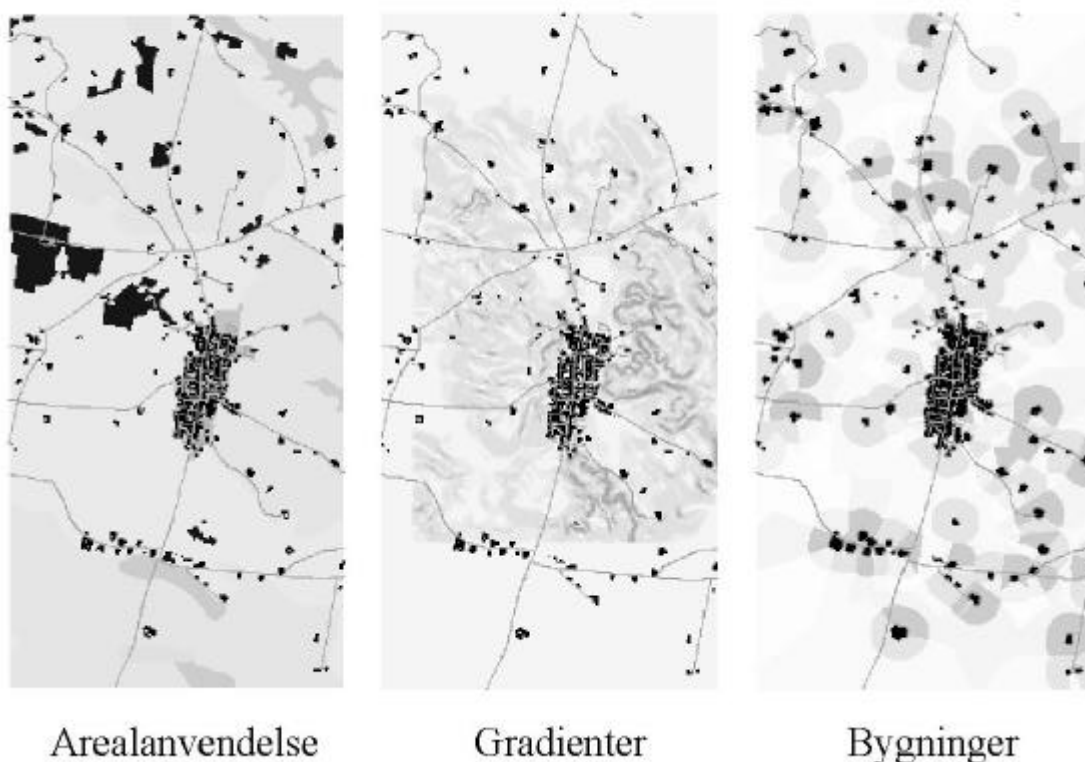
Det mest iøjnefaldende problem er orienteringen af objekterne i vektor repræsentationen. Objekter der ikke er kvadratiske og placeret i samme retning som rastercellerne er svære at repræsentere nøjagtigt i raster repræsentation. Men et større problem er størrelsen af

rastercellerne. Ved vektor repræsentation er nøjagtigheden af objektet (i dette tilfælde en bygning) veldefineret ved en enkelt polygon. Ved transformeringen fra vektor til raster afhænger nøjagtigheden af den valgt celledørrelse. Det essentielle problem ved transformering fra vektor til raster er altså det paradoks der ligger i at vælge den mindst mulige celledørrelse og derved mindske tabet af data, men samtidig at vælge den størst mulige celledørrelse for at reducere den mængde data der skal håndteres.

7.1.2 ET EKSEMPEL PÅ ANVENDELSEN AF RASTER GIS TIL KORRIDORPLANLÆGNING

Et eksempel på anvendelsen af raster GIS til korridorplanlægning omhandler fastlæggelsen af den optimale linieføring for en omfartsvej udenom en mindre dansk by [Kjems, E. (1996)]. Ud fra forskellige datakilder (de fleste i vektor repræsentation) blev dannet en række lag beskrivende klassifikationer af arealanvendelse (i dette tilfælde i form af jordarter), bygninger, vegetation, brugsgrænser, gradienter og fredede områder. Eksempler på de lag der repræsenterede arealanvendelse, gradienter og bygninger kan ses i Figur 81.

Figur 81. Eksempler på datagrundlaget i form af arealanvendelse, gradienter og bygninger [Kjems, E. (1996)].



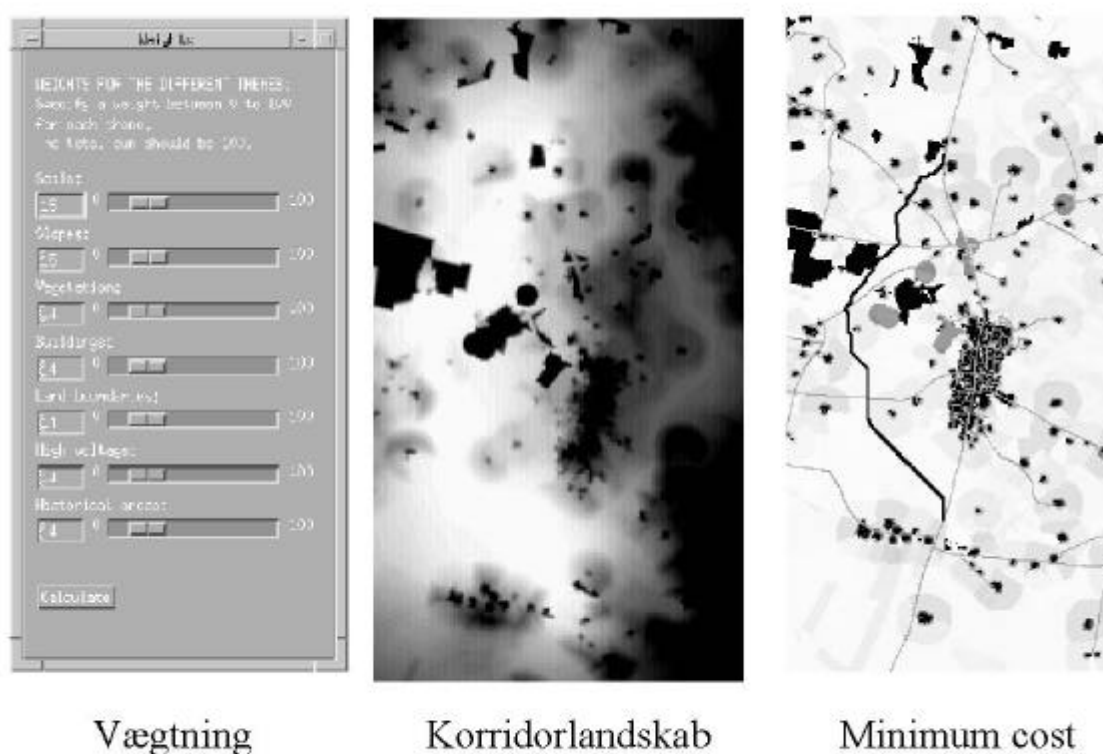
På trods af, at skalaen for dette projekt i planlægningssammenhæng var forholdsvis lille, kan princippet bag brugen af raster GIS anvendes for en vilkårlig størrelse af projekter.

I hvert lag fik cellerne tildelt værdier mellem 0 og 100, f.eks. havde jordarten sand værdien 5 og jordarten silt værdien 70 i det lag der repræsenterede arealanvendelsen, svarende til omkostningsniveauet ved at konstruere en vej gennem disse typer af celler. Hvert lag (eller

temaer som de også kan benævnes) blev efterfølgende vægtede mod hinanden på en skala fra 1 til 100⁵².

På Figur 82 er vist den menu der blev brugt til vægtningen mellem lagene, det beregnede korridorlandskab (corridor-scape) og den billigst mulige linieføring (minimum cost). De billigste områder i korridoren fremtræder lyse i korridorlandskabet, mens de gradvist mørkere områder repræsenterer stigende omkostninger. Den billigst mulige linieføring er vist i omkostningslandskabet (cost-cscape).

Figur 82. Menuen til vægtning af lagene, det beregnede korridorlandskab (corridor-scape) og den billigst mulige linieføring (minimum cost) [Kjems, E. (1996)].



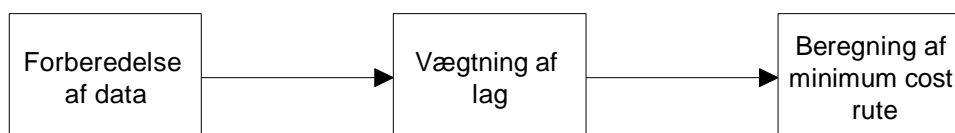
Som det fremgår af Figur 82 giver korridorlandskabet et meget klart og umiddelbart forståeligt billede af den rumlige fordeling af omkostningerne. I dette tilfælde er korridorlandskabet dog ikke et udtryk for de økonomiske omkostninger ved at ligge en trafikkorridor gennem området, idet der kun er blevet foretaget vægtninger af de indgående lag og ikke en egentlig værdisætning. I princippet er der dog intet i vejen for også at foretage en egentlig værdisætning, således at korridorlandskabet vil udtrykke de økonomiske omkostninger ved etablering af en transportkorridor gennem området. Problemstillingerne ved en kombination af vægtning og værdisætning af lagene i en korridormodel vil blive behandlet nærmere i afsnit 7.2.4.

⁵² Problemerne ved vægtning *indenfor* et lag og vægtning *mellem* lag vil blive nærmere behandlet i afsnit 7.2.4.

7.2 STRUKTURFORSLAG FOR ET KORRIDORPLANLÆGNINGSVÆRKTØJ (COPE)

Den korridormodel der blev anvendt i eksemplet i det forgående afsnit 7.1.2 er strukturet omkring en sekventiel tilgang med tre mere eller mindre uafhængige trin. De tre trin kan illustreres som vist i Figur 83.

Figur 83. Den grundlæggende struktur for et simpelt sekventielt værktøj til korridor planlægning (baseret på [Kjems, E. (1996)]).



I den sekventielle tilgang er et af formålene med vægtningen af lagene, at foretage en vægtning af de forskellige bindinger, der skal tages hensyn til ved en bestemmelse af linieføringen [Kjems, E. (1996)]. Det vil sige, at denne vægtning af bindingerne er en måde at fastlægge, hvordan forskellige politiske mål vil influere på korridorplanlægningen.

Men korridorplanlægning er ofte mere kompleks end den sekventielle tilgang for korridormodellen i Figur 83 antyder. Som tidligere nævnt skal en korridormodel snare betragtes som en hybrid mellem en konsekvensmodel og trafikplanprocessen.

Oftentimes vil man i forbindelse med planlægningen af trafikkorridorer være interesseret i at undersøge, hvordan forskellige politikker eller strategier påvirker omkostningslandskabet for korridoren. Disse strategier kunne f.eks. fokusere udelukkende på økonomiske aspekter eller inddrage andre planlægningsmål som f.eks. miljøaspekter. Beregningen af omkostningslandskabet er dermed ikke kun afhængig af den direkte omkostning forbundet med det enkelte lag, men også af den konsekvens, som selve linieføringen vil have på omgivelserne i korridoren.

Det betyder, at man ud over den vægtning og prissætning, der er nødvendig for at beregne et omkostningslandskab, er nødt til at evaluere konsekvenserne ved fastlæggelse af en linieføring i selve korridoren.

Korridorplanlægningsprocessen kan dermed ikke kun betragtes som værende sekventiel som i Figur 83, men må også inkludere rekursive eller iterative loops som en del af planlægningsprocessen.

I afsnit 7.2.1 beskrives den tilgang til trafikplanprocessen, der har været udgangspunktet for strukturen af den foreslåede korridormodel, og i afsnit 7.2.2 præsenteres så et forslag til en struktur for et værktøj til korridorplanlægning (COPE modellen). De efterfølgende afsnit 7.2.3, 7.2.4 og 7.2.5 behandler de enkelte moduler i COPE modellen og endelig afsluttes kapitlet med afsnit 7.3 hvor der vises en række illustrationer fra prototypen af COPE modellen.

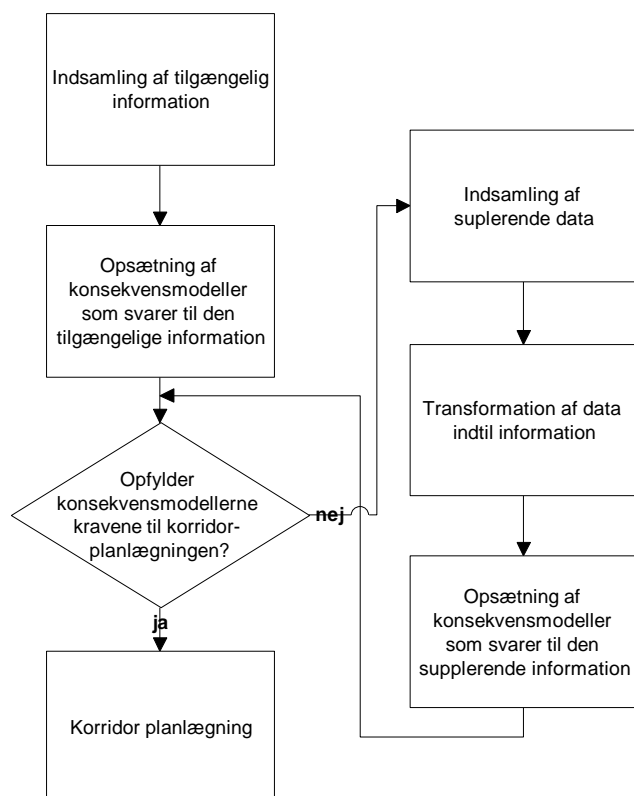
7.2.1 AFHÆNGIGHEDEN MELLEM TILGÆNGELIG INFORMATION OG KONSEKVENSMODEL

Som tidligere nævnt er et GIS et system, der er i stand til at håndtere geografisk relateret information. Imidlertid ligger der ofte en stor omkostning (såvel økonomisk som tidsmæssig) i at omdanne de tilgængelige data til brugbar information. Det betyder, at der kan opstå et misforhold mellem de informationer, man har til rådighed og de modeller, man

ønsker at anvende f.eks. til konsekvensevaluering. Denne afhængighed mellem den tilgængelige information og konsekvensmodellerne kan kaldes Information-Konsekvens afhængigheden (Information-Impact dependency).

Man kan opstille en struktur der tager højde for Information-Konsekvens afhængigheden i forbindelse med korridorplanlægningen, som vist i Figur 84.

Figur 84. Et forslag til indarbejdelse af Information-Konsekvens afhængigheden i forbindelse med korridorplanlægning.



Forslaget til denne planlægningstilgang består af tre grundlæggende trin inden selve korridorplanlægningen påbegyndes.

- Indsamling af information
- Opstilling af et modelkompleks, der afspejler de tilgængelige informationer
- Test for om de valgte konsekvensberegningssmodeller kan opfylde de krav der er opstillet for planlægningen af den aktuelle korridor.

I tilfælde af, at konsekvensberegningssmodellerne ikke kan opfylde kravene til korridorplanlægningen, vil det enten være nødvendig at indsamle supplerende data så mere sofistikerede eller bedre konsekvensberegningssmodeller kan anvendes eller det vil være nødvendig at opstille eller anvende modeller der passer til de tilgængelige data. Denne procedure gentages indtil kravene er opfyldt.

I forbindelse med korridorplanlægning vil eksempler på opstilling af krav kunne være:

- Er det muligt at anvende de opstillede modeller på baggrund af de tilgængelige data (er data tilstrækkelige)

- Passer modellerne til den kontekst de anvendes i (Hvis f.eks. miljøet er i fokus skal modellerne for støj og emissioner være nøjagtige nok)
- Er de valgte modeller i det hele taget egnet til at beskrive de typer af konsekvenser man vil evaluere (Hvis man f.eks. vil evaluere emissioner langs en vejstrækning i åben land nytter det ikke at anvende en emissionsmodel for gaderum)
- Vil modellerne også blive accepteret som passende til den aktuelle undersøgelse (Nøjagtigheden af modellen er underordnet hvis der ikke er en generel accept af modellen).

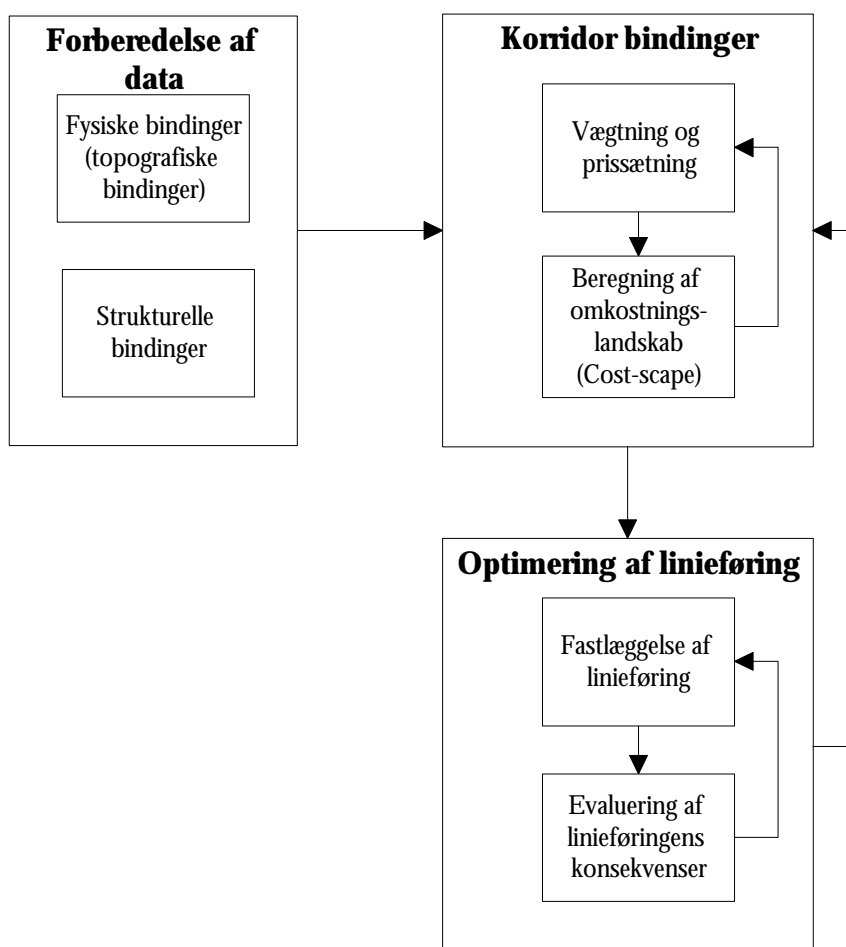
Den Informations-Konsekvens afhængighed der er beskrevet i dette afsnit er forsøgt inddraget i strukturen for den korridormodel (COPE) der præsenteres i det efterfølgende afsnit 7.2.2.

7.2.2 DEN STRUKTURELLE OPBYGNING AF COPE MODELLEN

Udgangspunktet for COPE (Corridor Planning and Evaluation) modellen har været den tretrinns sekventielle struktur fra Figur 83, men samtidig er der i strukturen for modellen forsøgt at tage højde for den Information-Konsekvens afhængighed der er beskrevet i afsnit 7.2.1 og skitseret i Figur 84.

Resultatet er blevet en tretrinns *rekursiv* struktur, som kan ses i Figur 85.

Figur 85. Strukturen for COPE modellen.



Som det fremgår af Figur 85 er de tre hovedkomponenter fra den sekventielle korridor-model bibeholdt, men strukturen er blevet udvidet med en række feedback mekanismer til sikring af, at der kan tages højde for Information-Konsekvens afhængigheden.

Indholdet af de tre hovedkomponenter og deres indbyrdes relationer behandles særskilt i de følgende afsnit.

7.2.3 FORBEREDELSE AF DATA

Forberedelsen af data dækker over indsamling og efterfølgende transformation af data til information. Som tidligere nævnt, er dette et vigtig aspekt ved brug af GIS, hvorfor det i COPE modellen indgår som et hovedelement.

I en korridormodel vil data skulle beskrive de bindinger der eksistere i korridoren og som skal indgå i beregningen af omkostningslandskabet. Man kan vælge at skelne mellem fysiske (topografiske) bindinger og strukturelle bindinger.

Fysiske bindinger

De fysiske bindinger kan overordnet inddeles i natur- og kultur skabte bindinger.

Typiske eksempler på naturskabte bindinger er:

- Havet
- Søer og vandløb
- Jordbund
- Landskabets gradienter

Eksempler på kulturskabte bindinger er:

- Arealanvendelse (bygninger, landbrugsjord, skove etc.)
- Eksisterende infrastruktur (veje, jernbaner, lufthavne, forsyningslinier som f.eks. højspændings kabler mm.)
- Områder uden adgang (militære anlæg, naturreservater, historiske lokaliteter osv.)

Strukturelle bindinger

De strukturelle bindinger er relateret til den måde, hvorpå de enkelte elementer eller områder er organiseret. I forbindelse med korridorplanlægning for højhastighedsforbindelser (HST⁵³ projekter) kunne eksempler på strukturelle bindinger være:

- Sporvidden
- Sikkerhedssystemer

I forbindelse med planlægning på Europæisk plan må landegrænser desuden (stadig) betragtes som stærke strukturelle bindinger.

⁵³ High Speed Train.

7.2.4 KORRIDORBINDINGER

Det primære formål med Korridorbindingsmodulet er en vægtning og prissætning af de fysiske og strukturelle bindinger, som danner udgangspunktet for beregningen af omkostningslandskabet.

Vægtning og prissætning i forbindelse med trafikplanprocessen dækker over et temmelig stort fagområde. Ofte vil vægtningen og prissætningen være tæt forbundne (og påvirket) af den valgte strategi eller af de politiske mål der ønskes gennemført. Imidlertid er det ikke selve vægtningen og værdisætningen, der er i fokus i denne sammenhæng, hvorfor der i dette afsnit valgt, at fokusere udelukkende på de muligheder for vægtning og prissætning, der er direkte relateret til den strukturelle opbygning af COPE korridormodellen i GIS.

Vægtningen og prissætningen i en GIS-baseret korridormodel hænger nøje sammen med den måde, hvorpå data er repræsenteret i det geografiske informationssystem. Som det fremgår af afsnit 7.1.1 er de enkelte objekter repræsenteret i lag med et lag for hver objekttype⁵⁴.

Det betyder, at vægtningen og prissætningen i en GIS-baseret korridormodel kan opdeles i to indbyrdes afhængige typer af vægtning og prissætning: Vægtning og prissætning mellem de enkelte objekter i et lag og vægtning og prissætning mellem de enkelte lag. Det giver fire kombinationsmuligheder for vægtning og prissætning, hvoraf de tre er vist i Tabel 7⁵⁵.

Tabel 7. Tre forskellige kombinationer af vægtning og prissætning i en GIS-baseret korridormodel.

	Relativt mål	Absolut mål	Kombineret mål
Inden for lag	Vægtning	Prissætning	Vægtning
Mellem lag	Vægtning	Vægtning	Prissætning

De tre skitserede kombinationer af vægtning og prissætning vil kort blive gennemgået i det følgende.

Relativt mål

Korridorprojektet beskrevet i afsnit 7.1.2 [Kjems, E. (1996)] er et eksempel på en implementering af et relativt mål. For hvert lag blev der foretaget en vægtning af objekterne på en skala fra 0-100. Dernæst blev der foretaget en procentisk vægtning mellem de forskellige lag. Derved blev der foretaget en relativ vægtning såvel inden for det enkelte lag som mellem lagene. Et problem ved denne type vægtning er, at det resulterende omkostningslandskab ikke umiddelbart kan omsættes til en monetær enhed og det er dermed ikke mulig at lave økonomiske analyser af korridoren. Hvis man ønsker at inddrage økonomiske analyser i korridorplanlægningen er det altså nødvendigt, at anvende en prissætning enten inden for de enkelte lag eller mellem lagene. Målet er imidlertid anvendelig i situationer hvor adgangen til data er begrænset eller hvis man ønsker et hurtigt overblik over korridoren på skitseniveau.

⁵⁴ F.eks. har man typisk et lag indeholdende bygninger (objekttype) og dette "bygingslag" kan indeholde en række forskellige bygninger (objekter).

⁵⁵ Den sidste mulighed er en prissætning både inden for laget og mellem lagene, men det giver ikke rigtig nogen mening i denne sammenhæng.

Absolut mål (prissætning indefor laget)

Formålet med et absolut mål er af foretage en prissætning af objekterne i et lag inden lagene vægtes mod hinanden. En fordel ved denne tilgang er, at enheden på data i de forskellige lag vil være den samme, svarende til, at enheden på data skifter fra en relativ enhed til en absolut. Dermed kan en evt. vægning mellem de forskellige lag betragtes som et udtryk for et valg af strategi eller politik.

Selve prissætningen af objekterne i de enkelte lag kan foretages på flere forskellige måder. En simpel metode er en direkte prissætning hvor data værdisættes i forhold til f.eks. omkostningen forbundet med det enkelte objekt. Et eksempel på en simpel direkte værdisætning kunne være omkostningen forbundet med at anlægge en vej gennem f.eks. en skov eller en bygning.

I tilfælde hvor det er svært eller umuligt at lave en direkte prissætning af dataene i et lag, kan en mulig løsning være, at anvende en prissætning baseret på en vægning. Denne vægning kan baseres på en simpel empirisk vægning eller en operationel MCA metode som f.eks. WARP (weight-and-rank-procedure) [Leleur, S. (1995)].

Kombineret mål (værdisætning mellem lagene)

Ved brug af et kombineret mål kan der, som for det absolutte mål, laves en økonomisk evaluering af korridoren. Det absolutte mål er dog en smule vanskeligere at have med at gøre med hensyn til valg af strategi.

Ved brug af et kombineret mål foretages ikke en prissætning i de enkelte lag, og data kan dermed være i vilkårlige enheder. Prissætningen bliver først foretaget i det øjeblik lagene skal vægtes sammen for at omkostningslandskabet kan beregnes. Det betyder, at værdisætningen ikke kun afhænger af den omkostning, der er direkte forbundet med data i laget, men også af den valgte strategi. Der er med andre ord tale om en mere politisk prissætning af data.

Med udgangspunkt i eksempelet fra det absolutte mål vil en prissætning af skove og bygninger ikke kun være et spørgsmål om den faktiske omkostning forbundet med disse objekter, men et spørgsmål om en politisk vægning og derigennem prissætning af objekterne.

Hvilke af de tre typer af mål, man anvender afhænger i høj grad af den kontekst, som korridorplanlægningen foretages i.

Beregning af omkostningslandskabet

Omkostningslandskabet er det direkte udtryk for den kombinerede effekt af vægningen og prissætningen og beregningen af omkostningslandskabet og beskrivelsen af beregningen har derfor ligget implicit i gennemgangen af vægningen og prissætningen.

Imidlertid er det i visse geografiske informationssystemer⁵⁶ muligt at bruge omkostningslandskabet som udgangspunkt for beregning og visualisering af korridoren. Dette korridorlandskab (corridor-scape) gør det muligt at visualisere en række sammenhænge og afhængigheder i omkostningslandskabet som det ellers ville være svært at se. Et eksempel

⁵⁶ Bl.a. i ARC/INFO som er anvendt i forbindelse med dette ph.d. projekt.

på visualisering af henholdsvis omkostningslandskab og korridorlandskab kan ses i det efterfølgende afsnit 7.3.

7.2.5 OPTIMERING AF LINIEFØRINGEN

Efter at korridoren er blevet beskrevet ved en prissætning og vægtning indtil et omkostningslandskab er det sidste skridt er finde den optimale linieføring. Som det fremgår af Figur 85 kan denne optimering af linieføringen beskrives ved en iterativ proces bestående to trin, fastlæggelse af linieføringen og en evaluering af linieføringens konsekvenser.

Fastlæggelse af linieføringen

Ud fra det beregnede omkostningslandskab kan der nu ske en fastlæggelse af linieføringen. Dette kan enten gøres ved en traditionel tilgang, hvor man forsøger at placere linieføringen i de "billigste" områder af korridoren eller man kan anvende en algoritme til at finde den korteste vej (mindst mulige samlet omkostning) gennem omkostningslandskabet. Det sidste er relativt simpelt i GIS, da denne type af algoritmer ofte er en del af systemets analyseværktøjer.

Evaluering af linieføringens konsekvenser

Når linieføringen er fastlagt skal de konsekvenser, der ikke er indgået direkte i fastlæggelsen af linieføringen evalueres. Denne evaluering kan meget vel lede til en reevaluering af den fastlagte linieføring, efterfulgt af fastlæggelsen af en ny linieføring. Denne relation modelleres i COPE modellen med intern feed-back mellem evalueringen af linieføringens konsekvenser og fastlæggelsen af linieføringen.

En medvirkende årsag til dette iterative forløb kan være modstridende interesser mellem de forskellige konsekvensberegningmodeller. For eksempel vil en reduktion af eksponeringen overfor støj og emissioner kunne opnås ved at placere linieføringen langt fra bebyggede områder. Problemet med en sådan placering er, at den vil være i modstrid med et evt. planlægningsmål for øget tilgængeligheden og strategisk mobilitet. I dette tilfælde vil planlægningsmålene og de miljøkonsekvenserne have modstridende interesser og en optimal løsning må findes. Hvor mange gange det iterative forløb gennemløbes afhænger i høj grad af hvordan man opbygger evalueringen af linieføringen.

I forbindelse med evalueringen af linieføringens konsekvenser er det således vigtigt, at gøre sig klart, hvilke konsekvenser der skal indgå i evalueringen af projektet. Et eksempel på et forslag til vurderingskriterier er EUNET projektet under EU's IV rammeprogram [EUNET (1997)].

Grundlæggende kan de effekter der bør indgå i en evaluering i forbindelse med korridorplanlægning opdeles i 4 forskellige konsekvenstyper [EUNET (1997)]⁵⁷.

1. Core impacts: Grundlæggende konsekvenser (A-impacts)
2. Non-core, non-strategic impacts: Projekt type specifikke karakteristika (B-impacts)
3. Strategic, territorial impacts: Konsekvenser med rumlig tilknytning (C-impacts)

⁵⁷ De essentielle dele af den engelske nomenklatur fra [EUNET (1997)] er bibeholdt for ikke at skabe uklarhed omkring begreberne.

4. Strategic, non-territorial impacts: Andre strategiske konsekvenser uden rumlig tilknytning (D-impacts)

De konsekvenser for de 4 overordnede typer af konsekvenser varierer alt efter hvilket transportmiddel der undersøges. Tabel 8 viser et eksempel på konsekvenserne fra EUNET (inter-urban road infrastructure projects):

Tabel 8. Konsekvenserne fra EUNET: Vurderingskriterier for inter-urban road infrastructure projects [EUNET (1997)].

Core impacts	A1 Investment cost
	A2 System operating and maintenance cost
	A3 Vehicle operating and maintenance cost
	A4 Travel time benefits
	A5 Safety
	A6 Local environment
Non-core, non-strategic impacts	B1 Driver convenience
	B2 Urban quality and landscape
Strategic, territorial impacts	C1 Strategic mobility
	C2 Strategic environment
	C3 Strategic economic development
Strategic, non-territorial impacts	D1 Other strategic policy and planning impacts

Det omfang, hvormed modeller for de forskellige konsekvenser kan drage nytte af funktionaliteterne i GIS, varierer afhængig af den territoriale (eller rumlige) tilknytning konsekvenserne har. F.eks. er de fem *core impacts* A1-A5 i Tabel 8 mere eller mindre rumlige uafhængige, mens A6 er må betegnes som territorial. For de *non-core, non-strategic impacts* gælder, at B1 ikke direkte territorial, mens B2 bestemt har en rumlig tilknytning. Det er evident, at alle *strategic, territorial impacts*⁵⁸ har en rumlig tilknytning og at *non-strategic, territorial impacts* ikke har.

Endelig er der i strukturen for COPE modellen medtaget eksternt feed-back fra optimeringen af linieføringen til korridorbindingerne. Denne forbindelse er medtaget, idet der kan opstå situationer, hvor konsekvenserne af linieføringen er i så stor modstrid med omkostningslandskabet, at det ikke er muligt at finde en tilfredsstillende løsning. Man kan derfor blive nødt til at ændre strategi og på den baggrund foretage en ny vægtning og prissætning resulterende i, at linieføringen skal placeres i et helt nyt omkostningslandskab.

⁵⁸ Et eksempel på en sådan model implementeret i GIS er gennemgået i afsnit 6.4.

7.3 ET EKSPLOLATIVT EKSEMPEL: ANVENDELSEN AF GIS TIL PLANLÆGNING AF EN HST KORRIDOR

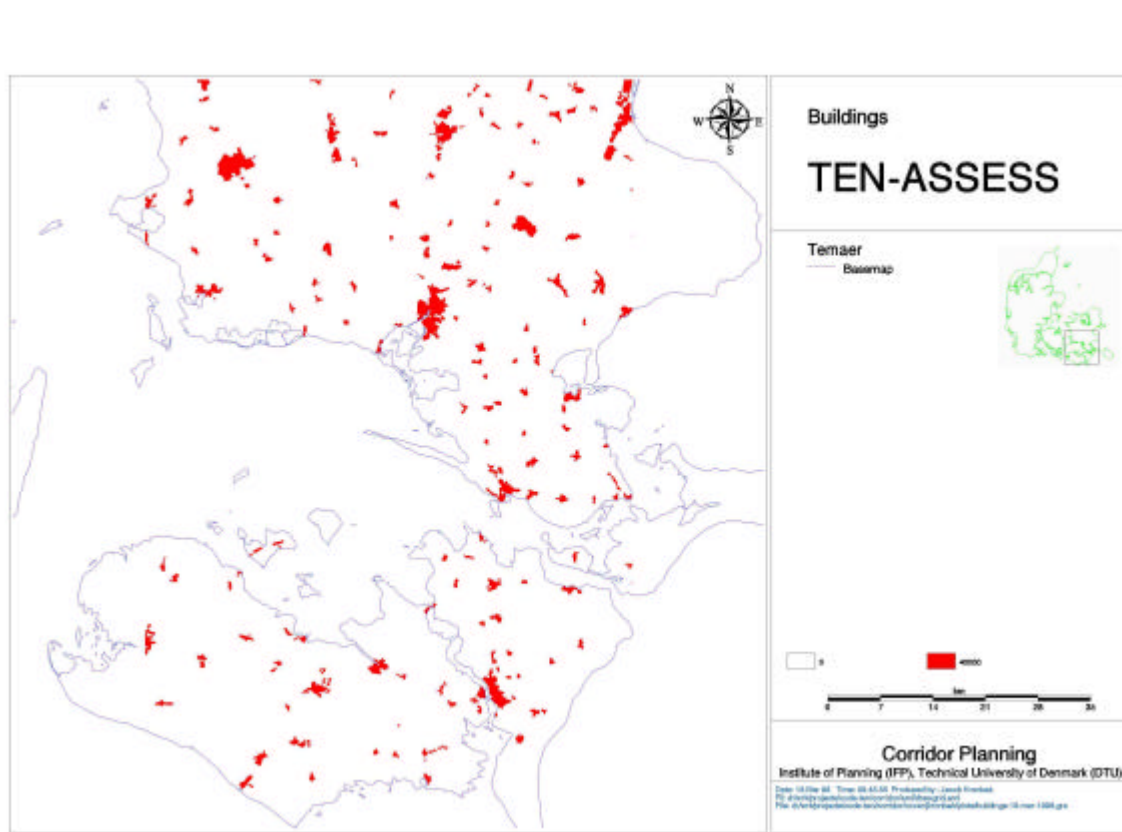
For at eksemplificere den struktur for COPE modellen, der er gennemgået i afsnit 7.2, vises i dette afsnit en række illustrationer. For løbende at kunne afprøve prototypen af korridormodellen blev et eksplorativt eksempel gennemført sideløbende med selve programmeringen. Der er således ikke tale om at der har været gennemført en tilbundsgående undersøgelse og eksemplet skal derfor udelukkende ses som en demonstration af mulighederne i COPE modellen. Der er visse paralleller mellem implementeringen af korridormodellen og implementeringen af tilgængelighedsmodellerne. For det første er i beskrivelsen valgt at fokusere på resultaterne mere end den programmering der har været nødvendig i forbindelse med implementeringen og for det andet er det eksplorative eksempel siden hen blevet anvendt i forbindelse med et andet projekt (TEN-ASSESS), hvorfra illustrationerne stammer.

Valget af eksplorativt eksempel faldt på en transportkorridor fra Ringsted til Rødby. Denne transportkorridor har et interessant perspektiv, idet strækningen mellem Ringsted og Rødby eventuelt vil indgå i en etablering af en højhastighedsbane på Fugleflugtslinien (København-Hamborg)⁵⁹.

Digitale data over området blev fremskaffet fra Kort- og Matrikelstyrelsen (KMS) i vektor format og transformeret til raster. Der indgik lag for jordbund, bygninger, skov, vandløb, søer, fredede områder, veje og jernbaner. Som et eksempel på disse data kan på Figur 86 ses de bebyggede områder på Sydsjælland, Lolland, Falster og Møn.

⁵⁹ For en dybdegående gennemgang af dette perspektiv se evt. [Brix, J. W. & Kousgaard, U. (1994)].

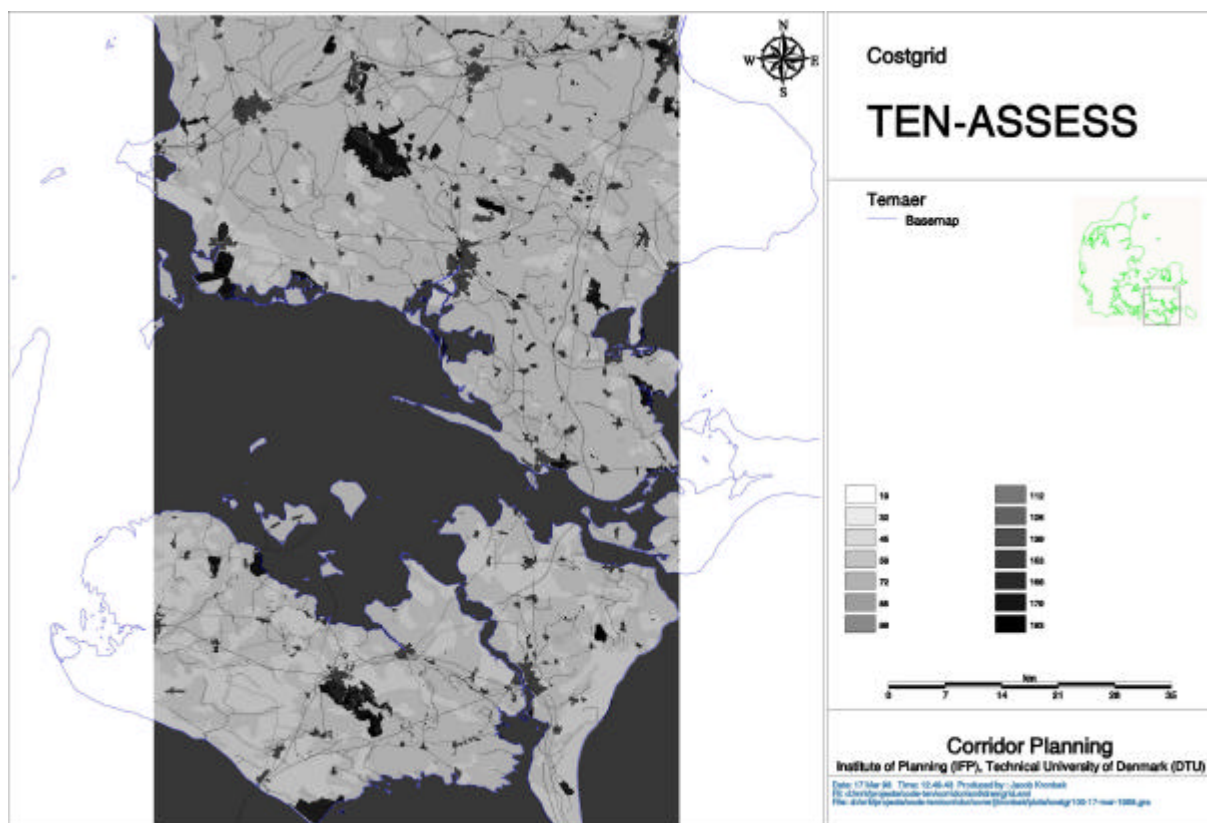
Figur 86. Bebyggede områder på Sydsjælland, Lolland, Falster og Møn.



Hver af disse lag blev prissat i forhold til omkostningen ved at etablere en jernbane gennem objekterne⁶⁰. Der blev i denne sammenhæng ikke foretaget nogen vægtning af de enkelte lag, svarende til at omkostningslandskabet viser den økonomiske omkostning ved at placere linieføringen for en højhastighedsbane gennem de enkelte områder. Det beregnede omkostningslandskab kan ses på Figur 87. De mørke områder svarer til en høj omkostning, mens omkostningen falder i takt med at områderne bliver lysere. Omkostningslandskabet er udelukkende beregnet for rektanglet i midten af figurfeltet.

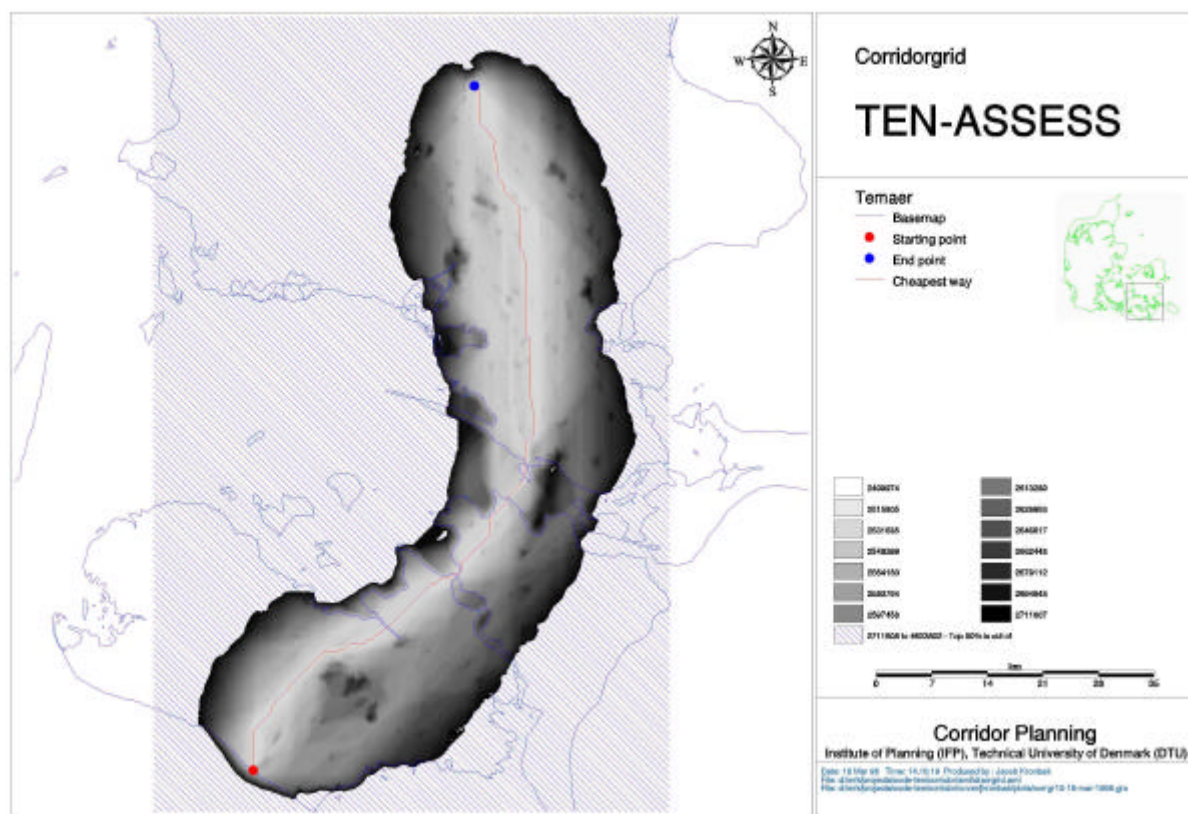
⁶⁰ For en nærmere beskrivelse af selve værdisætningen se evt. [Andreasen, K. L. (1998)].

Figur 87. Omkostningslandskabet for en HST-korridor mellem Ringsted og Rødby.



Som det fremgår af Figur 87 er det relativt dyrt, at føre linieføringen over vand, hvorfor havet fremtræder som et stort mørkt område. Desuden er det muligt af genkende mønstret fra Figur 86, idet det er forbundet med en betydelig omkostning at placere linieføringen gennem bebyggede områder. De øvrige mørke pletter på omkostningslandskabet stammer hovedsageligt fra vådområder og søer. Som nævnt i afsnit 7.2.4 giver visse af de geografiske informationssystemer mulighed for at visualisere omkostningslandskabet som et korridorlandskab. Korridorlandskabet i Figur 88 er baseret på omkostningslandskabet i Figur 87.

Figur 88. Korridorlandskabet for transportkorridoren mellem Ringsted og Rødby.

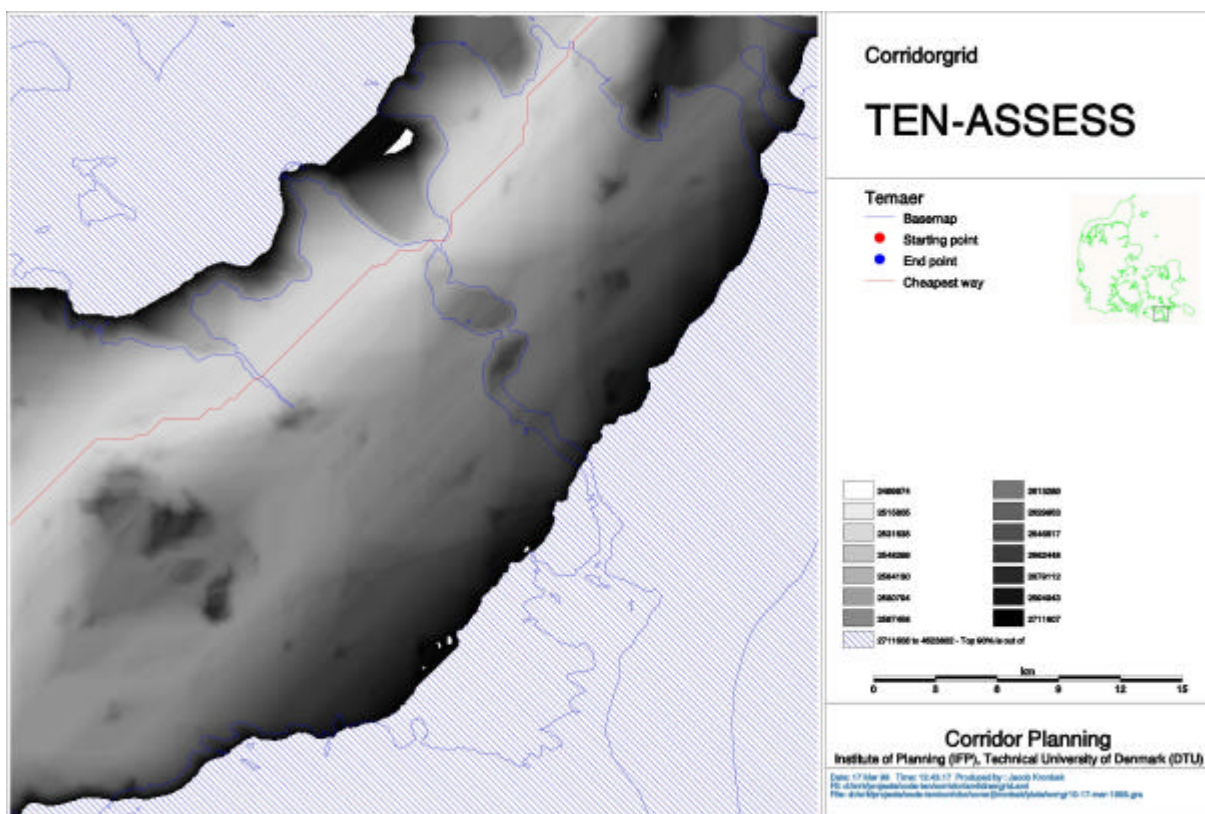


Ved denne type illustration beregner det geografiske informationssystem den billigst mulige vej gennem omkostningslandskabet (vist med rødt i Figur 88). Man skal være opmærksom på, at ved afslutningen af ph.d. projektet var prototypen af modulet til optimering af linieføringen endnu ikke færdig implementeret. Den viste linieføring er således ikke justeret ud fra baneprojekteringsregler⁶¹.

Den relative stigning i anlægsomkostningen kan aflæses i farvenuancerne omkring den billigst mulige vej. På Figur 89 kan ses et udsnit af korridorlandskabet omkring Guldborgsund.

⁶¹ Der arbejdes dog i øjeblikket på IFP med at undersøge mulighederne for at modellere baneprojekteringsregler i GIS [Kristensen, K.; Hviid Steen, C. & Wass-Nielsen, M. (1998)].

Figur 89. Udsnit af transportkorridoren mellem Ringsted og Rødby.



Det fremgår af Figur 89 hvordan omkostningen ved at lade linieføringen løbe over vand tvinger korteste vej algoritmen til at krydse Guldborgsund hvor afstanden er kortest. Samtidig ses hvordan dybten af Saksøbing fjord og Saksøbing by for enden af fjorden gør at det bedre kan betale sig at etablere en bro over fjorden end ligge linieføringen uden om.

7.4 KONKLUSION

Ved afslutningen af ph.d. projektet var prototypen af modulet til optimering af linieføringen endnu ikke implementeret. Det ændrer dog ikke på det forhold, at perspektivet ved at implementere en korridormodel i GIS er lovende. Som for tilgængeligheden gør det rumlige aspekt af korridorplanlægningen det oplagt at anvende de metoder og værktøjer der stilles til rådighed i det geografiske informationssystem.

Ud over de mere indlysende fordele med hensyn til håndtering af de forholdsvis store datamængder der anvendes til korridorplanlægningen gør den meget stærke grafiske visualisering det samtidig muligt at opdage og beskrive sammenhænge mellem værdisætning og vægtning, man ikke tidligere har været opmærksom på.

Det er dog vigtig at erkende, at den struktur der er foreslået for korridormodellen COPE først vil kunne evalueres endelig i det øjeblik modellen er fuldt implementeret.

8. KONKLUSION OG PERSPEKTIVERING

Denne afhandling omhandler anvendelsen af geografiske informationssystemer (GIS) inden for trafikplanlægningen med hovedvægt på beregninger af trafikens konsekvenser. I afhandlingen er givet en general behandling af GIS og eksempler på de typer af konsekvensberegningsmodeller, der på nuværende tidspunkt kan ses implementeret i GIS.

I afhandlingen udvikles en konsistent taksonomi for begreberne tilgængelighed og mobilitet og de to begreber defineres som:

Tilgængeligheden beskriver den lethed, hvormed enhver arealbaseret aktivitet kan nås fra en lokalitet, ved anvendelse af et givet transportsystem.

Mobilitet beskriver den lethed, hvormed et individ kan bevæge sig bort fra en given lokalitet, ved anvendelse af et givet transportsystem.

Samtidig introduceres begreberne potentiale og det oplevede potentiale:

Potentialet beskriver individets muligheder for at deltage i aktiviteter.

Det oplevede potentiale beskriver individets opfattelse af mulighederne for at deltage i udvalgte aktiviteter.

Desuden er foretaget en implementering af tre forskellige modeltyper i det geografiske informationssystem ARC/INFO. De tre implementerede modeltyper er efterfølgende vurderet med hensyn til deres mulige inddragelse i en multimodal trafikplanproces. Afhandlingen afsluttes med en præsentation af nogle konkrete modeller.

På baggrund af arbejdet beskrevet i afhandlingen er der opstillet en række konklusioner.

- Brugen af geografiske informationssystemer giver en lang række værktøjer (bl.a. visualisering), der kan anvendes til håndtering og modellering af trafikken og dens konsekvenser. Imidlertid må det anses som en væsentlig barriere for anvendelsen af GIS i trafikplanprocessen, at udviklingen af GIS-baserede modeller i trafikplanlægningen kræver enten en GIS ekspert med en stor faglig indsigt eller en trafikplanlægger med en stor indsigt i GIS.
- Modelleringen af multimodale netværk i GIS er forholdsvis besværlig og kræver et indgående kendskab til datastrukturen i det geografiske informationssystem man anvender. I afhandlingen er vist eksempler på hvorledes der er muligt at modellere multimodale netværk i GIS. Anvendelsen af GIS i forbindelse med den multimodale trafikplanproces afhænger i høj grad af modelleringen af de multimodale netværk.
- På baggrund af den foreslåede taksonomi er udviklet og implementeret mål for topologisk tilgængelighed, aggregeret tilgængelighed og disaggregeret tilgængelighed i det geografiske informationssystem ARC/INFO. Denne implementering gav anledning til at påpege en række forhold, der kræver særlig opmærksomhed ved anvendelsen af GIS i trafikplanlægningen:

Imponator effekten – anvendelsen af grafisk visualisering er stadig ny inden for trafikplanlægningen

Grafisk visualisering skjuler nøjagtigheden i undersøgelsen

Grafisk visualisering viser ikke forudsætningerne for modellen

- Med udgangspunkt i det disaggregerede mål for tilgængelighed er opstillet en konsekvensmodel for strategisk mobilitet i form af et nyt indeks benævnt POINTER. Dette indeks inddrager sammenlignet med allerede anvendte indekstyper nytten af et forøget antal kontakttimer og ikke alene antal mulige kontaktpersoner.
- Ud over anvendelse til implementering af modeller for trafikens konsekvenser kan GIS også bruges som grundlag for opstillingen af en decideret planlægningsmodel. Prototypen for korridormodellen COPE, som er udviklet og implementeret i forbindelse med dette projekt, er et oplagt eksempel på en udnyttelse af de muligheder for rumlig modellering, der ligger i de geografiske informationssystemer. I forbindelse med implementeringen er desuden gjort opmærksom på en vigtig problemstilling omkring vægtning og værdisætning i en korridormodel.
- I forbindelse med ph.d. arbejdet er gennemregnet nogle eksempler for POINTER og COPE modellerne. Selv om disse modeller endnu ikke er færdig implementerede i forbindelse med konkrete planlægningsundersøgelser, kan det konkluderes, at deres anvendelse i en sådan sammenhæng vil tilføre infrastrukturplanlægningen vigtige nye former for viden om konsekvenser.

Ovenstående konklusioner danner baggrund for nogle perspektiver for det videre arbejde inden for afhandlingens emner. Perspektivering vil først og fremmest tage udgangspunkt i de to opstillede modeller POINTER (vedrørende tilgængelighed) og COPE (vedrørende korridorplanlægning).

Der ser ud til at være et perspektiv for anvendelse af tilgængelighed i trafikplanprocessen. Dette understøttes af, at de udviklede og implementerede mål for såvel den topologiske som den disaggregerede tilgængelighed (POINTER) allerede har været anvendt i henholdsvis Landsplanredegørelsen og EU projektet EUNET. For POINTER indekset gælder desuden, at det anvendes og videreudvikles i forbindelse med det igangværende EU projekt CODE-TEN.

Med hensyn til COPE korridormodellen, så skal den også anvendes og videreudvikles i CODE-TEN projektet. Denne videreudvikling vil formentlig først og fremmest koncentrere sig om vægtning/værdisætning og optimeringen af linieføringen.

Der tegner sig således et særdeles interessant perspektiv for fremtidig anvendelse af geografiske informationssystemer som en integreret del af trafikplanprocessen.

9. LITTERATUR

- Andreasen, K. L. (1998): "GIS baseret korridorplanlægning", 10 point kursarbejde, Institut for Planlægning, Danmarks Tekniske Universitet, 1998.
- APAS/ROAD/3 (1995), Final Report, Prepared for the Commission of the European Communities DG VII-A4, August 1995.
- Bertuglia, C. S.; Clarke, G. P. & Wilson, A. G. (1994): "Modelling the City - performance, policy and planning", Routledge, ISBN 0-415-09944-7, London 1994.
- Black, J. & Conroy, M. (1977): "Accessibility measures and the social evaluation of urban structure, Environment and Planning A, Vol. 9, Pages 1013-1031, 1977.
- Book, K. & Eskilsson, L. (1996): "Samband mellan stadsstruktur och transportstruktur ur en kulturgeografisk synvinkel - En kunskapsöversikt", Institutionen för kulturgeografi och ekonomisk geograf, Lunds Universitet, KFB-Meddelande 1996:1, Maj 1996.
- Brix, J. W. & Kousgaard, U. (1994): "Vurdering af alternativer for højhastighedsbaner – Strækningen København-Rødby, Eksamensprojekt, Institut for Veje, Trafik og Byplan, Danmarks Tekniske Universitet, 1994.
- Burns, L. D. (1979): Transportation, "Temporal and Spatial Components of Accessibility", Lexington Books 1979.
- Cassettari et Al. (1994): GIS: Increasing the Effectiveness of Spatial Information Management, The 22nd European Transport Forum, Proceedings of Seminar N (Geographic Information Systems), University of Warwick, England 12-16 September 1994.
- Cassettari, S. (1993): Introduction to integrated Geo.-information management, Chapman & Hall England 1993.
- Chatelus, G. & Ulied, A. (1995): "The UTS Study - Union Territorial Strategies linked to the Trans-european Transportation Networks", Final Report, EC/DGVII, MECRIT/INRETS 1995.
- Chen, P.P.-S (1976): The entity-Relationship Model - Toward a Unified View of Data, ACM Transactions on Database Systems, Vol. 1, No. 1:9-36.
- Dalvi, M. Q. (1978): Behavioural modelling accessibility, mobility and need: concepts and measurements, Behavioural Travel modelling, Croom Helm London.
- Dangermond, J. (1979): A case study of the Zulia regional planning study, Harvard Library of Computer Graphics, Vol. 3, pp. 35-62.
- De La Barra, T. (1989): "Integrated land use and transport modelling - Decision Chains and Hierarchies, Cambridge University Press, Cambridge 1989.
- De La Barra, T., Añez, J. & Pérez, B. (1996): "Dual Graph Representation of Transport Networks", Transportation Research, Vol. 30B, No. 3, pp. 209-216.
- EPFL 1 (1994): Copies de transparents, notes de cours La modelisation; les formalismes; le formalisme Entité-Relation, Système d'information sur le territoire, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Année academique 1993-1994.
- Erlandsson, U. (1995): "Svenska regioners kontakt och resemöjligheter i europa", Föredrag vid VTI-dagarna i Linköping 1995.

- ESRI (1991A): "ARC/INFO Data Model, Concepts & Key Terms, Environmental Systems Research Institute (ESRI) INC., 1991.
- ESRI (1991B): "ARC/INFO Cell-based modelling with GRID, Environmental Systems Research Institute (ESRI) INC., 1991.
- ESRI (1994): ARC/INFO Data Management, Concepts, data models, database design, and storage, Environmental Systems Research Institute, Inc, 1994, ISBN 1-879102-28-5.
- EUNET (1997): WP1 Task 1.3: Final Version of Internal Report about EUNET Transport Evaluation Framework, The Danish EUNET Project Team: IVTB & COWI, Restricted report availability, March 1997.
- Gissel, S. (1996): "Gravitationsmodellens teoretiske grundlag - udledninger og økonomiske fortolkninger". Speciale, Matematisk Planlægning, Aarhus Universitet 1996.
- Goodchild, M. F. (1990a): Geographical Data Modelling, GIS Design Models and Functionality, Leicester, Midlands Regional Research Laboratory, U.K.
- Grevy, B. (1996): GIS-baseret sortpletudpegning, Eksamensprojekt, Institut for Planlægning, Danmarks Tekniske Universitet, 1996.
- Handy, S. L. & Niemeier, D. A. (1995): "Measuring accessibility: An exploration of issues and alternatives", Paper not yet publicised, September 1995.
- Hansen, W. G. (1959): "How accessibility shapes land-use", Journal of the American Institute of Planners, No. 25, pp. 73-76, 1959.
- Hanson, S. et al. (1986): "The geography of urban transportation", The Guilford Press, ISBN 0-89862-775-3, 1986.
- Heanue, K.; Menckhoff, G.; Peyrebrune, H. & Pisarski, A. (1995): Urban mobility: an international perspective, Routes Roads Special 1, PIARC World Road Association, 1995.
- Izquierdo, R. & Monzon, A. (1992): Infrastructure capacity and network access, Sub-topic 3, Transport Growth in Question, 12th international symposium on theory and practice in transport economics, Lisboa 1992.
- Jacobi, O. (1983): Landmåling, Beregningseksempler med EDB programmer, Institut for Landmåling og Fotogrammetri, Maj 1983.
- Khisty, J. & Leleur, S. (1997): "Societal Planning: Identifying a New Role for the Transport Planner" Part I & II, Innovation, Vol. 10, No. 1.
- Kjems, E. (1996): "Raster-GIS i vejplanlægningen – Et forprojekt", Paper fra Trafikdage på Aalborg Universitet, Transportrådet og Trafikforskningsgruppen, Aalborg Universitet 1996.
- Koenig, J. G. (1980): "Indicators of urban accessibility: Theory and application", Transportation vol. 9 no. 2, June 1980.
- Kristensen, K.; Hviid Steen, C. & Wass-Nielsen, M. (1998): "Strategisk korridorplanlægning med GIS, Kursusarbejde, Institut for Planlægning, Danmarks Tekniske Universitet, 1998.
- Kronbak, J. & Rehfeld, C. (1996): "Introduktion til GIS – Samt topologiske sammenhænge, Internt undervisningsnotat, Institut for Planlægning, Danmarks Tekniske Universitet 1996.

- Kronbak, J. & Riff Brems, C (1996): "Multimodale trafiknet i GIS", Notat 1994-4, Institut for Planlægning, Danmarks Tekniske Universitet 1996, ISSN-1396-4763.
- Kronbak, J. (1993): Støjberregning i Næstved ved brug af det geografiske informationssystem TransCad, Kursusarbejde ved Institut for Veje, Trafik og Byplan (det nuværende IFP), Danmark Tekniske Universitet, 1993.
- Kronbak, J. (1997): "Trafikal tilgængelighed – Begreber og metoder", Notat 1997-1, Institut for Planlægning, Danmarks Tekniske Universitet 1997, ISSN-1396-4763.
- Kronbak, J., Greibe, P. (1994): Uheldsmodeller for signalregulerede vejkryds, Eksamensprojekt, Institut for Veje, Trafik og Byplan (nu del af Institut for Planlægning), Danmarks Tekniske Universitet, 1994
- Kronbak, J.; Nielsen, B.; Larsen, H. & Thorlacius, P. (1996): "Tilgængeligheden i Danmark", Miljø & Energiministeriet, Landsplanafdelingen, Februar 1996.
- Kaae Petersen, J. (1992): Objektorienteret digital kortlægning, Ph.d. afhandling, Institut for Landmåling og Fotogrammetri, Danmarks Tekniske Højskole 1992.
- Lahrman, H. & Leleur, S. (1994): "Vejtrafik - Trafikteknik & Trafikplanlægning", Polyteknisk Forlag 1994.
- Landsplanafdelingen (1996): "Revideret forslag til Landsplanredegørelse", Miljø & Energiministeriet, Landsplanafdelingen, Oktober 1996.
- Larsen, L. E. (1997): Modelling the traffic barrier, Master thesis, Department of Planning, Technical University of Denmark, 1997.
- Leleur, S. (1995): "Road Infrastructure Planning - A Decision-Oriented Approach", Polyteknisk Forlag 1995.
- Lindgaard, T. & Høgedal, H. J. (1997): "Tilgængelighedens parametre", Kursusarbejde, Institut for Planlægning, Danmarks Tekniske Universitet 1997.
- Mackiewicz, A. & Waldemar, R. (1996): "Towards a new definition of topological accessibility", Transportation Research - B Vol. 30, No. 1, pp. 47-79, 1996.
- Maguire, D.J., Goodchild, M.F., Rhind, D.W. (1991): Geographical Information Systems, Volume 1&2, Longman Scientific & Technical 1991.
- Manheim, M. (1979): "Fundamentals of Transport System Analysis", Cambridge, MIT press, 1979.
- Miljøstyrelsen (1996): Middelfartprojektet - støjkortlægning koblet med GIS/BBR, TetraPlan, Kort- og Matrikelstyrelsen, ISBN 87-7810-712-1 - ISSN 0908-9195.
- Morris, J. M.; Dumble, P. L. & Wigan, M. R. (1979): "Accessibility Indicators for Transport Planning", Transportation Research Part A, Vol. 13A, No. 2, April 1979.
- Naturvårdsverket (1991): Beräkningsmodell för vägtrafikbuller, Del 2: Bakgrundsmaterial, Naturvårdsverket. ISBN: 91-620-1059-X
- Nielsen, O. A. (1994): "Optimal brug af persontrafikmodeller - En analyse af persontrafikmodeller med henblik på dataøkonomi og validitet, Ph.d. afhandling, Rapport nr. 76, Institut for Veje, Trafik og Byplan, Danmarks Tekniske Universitet 1994.

- Ortúzar, J. de D. & Willumsen, L. G. (1994): "Modelling Transport", Second Edition, John Wiley & Sons, 1994.
- Pearce, D. W. & Turner, R. K. (1990): "Economics of Natural Resources and the Environment, Harvester Wheatsheaf 1990, ISBN 0 7450 0202 1.
- Pooler, J. (1994): "An extended family of spatial interaction models", *Progress in Human Geography* 18, 1 (1994) pp. 17-39.
- Reed, T. L. (1996): "Inter-city Accessibility in Denmark - A regional, single index measure applied to Denmark using ARC/INFO GIS", University of Washington, Department of Transportation Engineering and Technical University of Denmark, Department of Planning, Research Report, September 1996.
- Rehfeld, C. (1994): Anvendelse af GIS i trafikplanlægning, Kursusarbejde ved Institut for Veje, Trafik og Byplan (IVTB), Danmarks Tekniske Universitet (DTU) 1994.
- Rehfeld, C. (1995): "Application of GIS in traffic planning - with a special emphasis on local environmental effects and decision support", Paper 1995-2, Institute of Roads, Transport and Town Planning, Technical University of Denmark, 1995.
- Rehfeld, C. (1998): "Transport infrastructure investments and decision support systems", Ph.D. Dissertation, Department of Planning, Technical University of Denmark, 1998.
- Sheffi, Y. (1985): "Urban Transportation Networks", Prentice Hall, Inc, Englewood Cliffs, NJ, 1985.
- Simmonds, D. C. & Hunt, J. D. (1993): "Theory and application of an integrated land-use and transportation modelling framework", *Environment and Planning B: Planning and Design*, Pages 221-244, Volume 20 1993.
- Solvang Jensen, S. (1998): "Hvor meget luftforurening udsættes fru Jensen for?", Artikel i DMU Nyt nr. 1, marts 1998.
- Spieß, H. & Florian, M. (1989): "Optimal Strategies: A New Assignment Model for Transit Networks", *Transportation Research*, Vol. 23B, No. 2, pp. 83-102.
- TENASSESS (1998): WP8 ex-ante case – Railway line from mid-Zealand to Femer Belt, to be published in 1998.
- Thorlacius, P. (1995): "Tilgængeligheden i Danmark - En undersøgelse af den danske befolknings rejsetider til servicecentre og trafikterminaler afhængig af bopælens placering", Institut for Veje, Trafik og Byplan, Danmarks Tekniske Universitet, Oktober 1995.
- Thorlacius, P. (1998): "Beregning af rejsetider – for rejser med bil og kollektiv trafik", Afdelingen for Systemanalyse, Danmarks Miljøundersøgelser, 2. Udkast, Maj 1998.
- Ulied, A. (1995): "Accessibility to Transportation Networks and Spatial Development", Doctoral Thesis, E. T. S. D'Enginyers de Camis, Canals i Ports, Universitat Politècnica de Catalunya 1995.
- VDL (1991): Beregningsmodel for vejtrafikstøj, Hans Bendtsen og Jørgen Kragh, Vejdatalaboratoriet - Planstyrelsen - Miljøministeriet, Rapport 93 1991, ISBN 87-88728-39-0, ISSN 0107-0614.
- Vejdatalaboratoriet (1983): Model for uheld i vejkryds, VDL-Rapport 33, Jørgensen, N. O. & Jørgensen E., Vejdatalaboratoriet 1983.

Vejdatalaboratoriet (1985): Metoder og resultater i den koordinerede uheldsstatistik 1978-82, VDL-Rapport 27, Vejdatalaboratoriet 1985.

Vejdirektoratet (1992): Undersøgelse af større hovedlandevejsarbejder – Metode for effektberegninger og økonomisk vurdering, Økonomisk - Statistisk Afdeling, 1992.

Vejdirektoratet, (1986): VEJMAN - Systemskitse for kommunale vejregistre og vejvedligehold på PC-ere, Vejdatalaboratoriet og Statens Vejlaboratorium, Notat 1, 1986.

Williams, H. C. W. L. & Senior, M. L. (1977): "Accessibility, Spatial Interaction and the Spatial Benefit Analysis of Land Use - Transportation Plans", Spatial Interaction and Planning Models, Edited by A. Karlqvist et al., North-Holland 1978, ISBN 0 444 85182 8.

Wood, S.; Copley, G. & Foy, S. (1994): "Accessibility Analysis for Mobility Impaired People, Proceedings of Seminar F, The 22nd European Transport Forum, 12-16 September 1994.

Yamashita, J. (1995): "Spatial Interaction and Spatial Structure - A Study of Public Facility Location", Ph.D. dissertation 123, Department of Social and Economic Geography of Lund University, Lund University Press 1995.

FORORD	1
RESUME	2
ABSTRACT	4
1. INDLEDNING	5
2. PRINCIPPER OG DEFINITIONER I GIS	7
2.1 INDLEDNING	7
2.2 OPBYGNINGEN AF ET GIS	7
2.3 TOPOLOGI.....	9
2.4 DATAMODELLERING	11
2.5 DATAABSTRAKTION.....	18
2.6 BRUGEN AF GIS I RELATION TIL TRAFIKPLANLÆGNINGEN	22
2.7 KONKLUSION OG OPSUMMERING.....	23
3. MODELLERING AF MULTIMODALE NETVÆRK I GIS	25
3.1 TRAFIKNET I TRADITIONELLE TRAFIKMODELLER	25
3.2 MULTIMODALE TRAFIKNET I GIS.....	30
3.3 KONKLUSION OG OPSUMMERING.....	33
4. KONSEKVENSBEREKNINGER	34
4.1 STRÆKNINGSBASEREDE KONSEKVENSBEREKNINGSMODELLER	34
4.2 RUMLIGE KONSEKVENSBEREKNINGSMODELLER.....	40
4.3 KONKLUSION OG OPSUMMERING.....	46
5. TILGÆNGELIGHED	48
5.1 INDLEDNING	48
5.2 BEGREBERNE TILGÆNGELIGHED OG MOBILITET.....	48
5.3 KLASSIFIKATION AF TILGÆNGELIGHEDSMÅL	51
5.4 OPSTILLING AF MODELLER FOR TILGÆNGELIGHED	61
5.5 TOPOLOGISKE TILGÆNGELIGHEDSMÅL.....	67
5.6 AGGREGERET TILGÆNGELIGHEDSMÅL	69
5.7 DISAGGREGERET TILGÆNGELIGHEDSMÅL	75
6. IMPLEMENTERING AF TILGÆNGELIGHEDSMÅL I GIS	82
6.1 DATAGRUNDLAGET	82
6.2 TOPOLOGISK TILGÆNGELIGHED.....	89
6.3 AGGREGERET TILGÆNGELIGHED	102
6.4 DISAGGREGERET TILGÆNGELIGHED	107
6.5 SAMMENFATNING.....	115
7. KORRIDORMODELLER	117
7.1 BRUGEN AF GIS TIL KORRIDORPLANLÆGNING	117
7.2 STRUKTURFORSLAG FOR ET KORRIDORPLANLÆGNINGSVÆRKTØJ (COPE).....	122
7.3 ET EKSPLOKATIVT EKSEMPEL: ANVENDELSEN AF GIS TIL PLANLÆGNING AF EN HST KORRIDOR	130
7.4 KONKLUSION	134
8. KONKLUSION OG PERSPEKTIVERING	135
9. LITTERATUR	137

APPENDIKS I : Oversigt over aktiviteter i forbindelse med ph.d. projektet

APPENDIKS II : Oversigt over kort produceret i forbindelse med Landsplanredegørelsen

APPENDIKS I

Det følgende er en liste over aktiviteter der har været en del af ph.d. studiet for Jacob Kronbak.

Publikationer

1995, Kronbak, J. & Rehfeld, C., Vejtrafikstøj, Institut for Planlægning, Undervisningsnotat.

1995, Kronbak, J., Tilgængelighed i Danmark, Trafikdage på Aalborg Universitet 1995.

1996, Kronbak, J., Nielsen, B., Thorlacius, P. & Larsen, H., "Tilgængeligheden i Danmark", Landsplanafdelingen, Miljø- & Energiministeriet, ISBN 87-601-6159-0.

1996, Brems, C. R. & Kronbak, J., "Multimodale trafiknet i GIS", Notat 1994-4, Institut for Planlægning, Danmarks Tekniske Universitet 1996, ISSN-1396-4763.

1997, Kronbak, J., "Trafikal tilgængelighed – Begreber og metoder", Notat 1997-1, Institut for Planlægning, Danmarks Tekniske Universitet 1997, ISSN-1396-4763.

Under udarbejdelse:

1998, Kronbak, J. & Rehfeld, C. (1998), Introduktion til GIS – Samt til topologiske sammenhænge, Institut for Planlægning, Notat 1998-2, Danmarks Tekniske Universitet.

1998, Kronbak, J., Rehfeld, C., Grevy, B. & Leleur, S. (1998), Prioritering imellem miljø, økonomi og tilgængelighed i strategiske analyser, Trafikdage på Aalborg Universitet 1998.

Medvejleder for eksamensprojekter

1996, Thorlacius, P., "Risikomodeller for transport af farligt gods – GIS anvendt til vurdering af risiko ved transport af farligt godt i Danmark", Institut for Planlægning, Danmarks Tekniske Universitet, Maj 1996. Hovedvejleder: N. O. Jørgensen.

1996, Reed, T. L., "Inter-city Accessibility in Denmark - A regional, single index measure applied to Denmark using ARC/INFO GIS", University of Washington, Department of Transportation Engineering and Technical University of Denmark, Department of Planning, Research Report, September 1996. Hovedvejleder: Scoot Routerford.

Medvejleder for individuelle projekter

1995, Thorlacius, P., "Tilgængeligheden i Danmark - En undersøgelse af den danske befolknings rejsetider til servicecentre og trafikterminaler afhængig af bopælens placering", Institut for Veje, Trafik og Byplan, Danmarks Tekniske Universitet, Oktober 1995. Hovedvejleder: N.O. Jørgensen

1997, Pedersen, T. L. & Høgedal, H. J., Tilgængelighedens parametre, 3-ugers kursus.

1998, Kristensen, K., Steen, C.H., Wass-Nielsen, M., Strategisk korridorplanlægning med GIS, 10 point kursus.

1998, Andreasen, K. L., GIS baseret korridorplanlægning, 10 point kursus.

Undervisning

1995, Større kursusforløb i Trafik i byer om GIS i trafikplanlægningen.

1996, VEJ-EU, Forelæsning om GIS og øvelse i ArcView.

1996, Grundkursus i GIS, udvikling, planlægning og undervisning.

Deltagelse i DG VII 4'er Ramme Programmer

TEN-ASSESS, Udvikling af ex-ante korridormodel.

EUNET, Udvikling af POINTER-index til beskrivelse af strategisk mobilitet.

CODE-TEN, Deltagelse i projektdefinering og udvikling af korridormodel.

Andet

1995-1996, Opbygning og administration af UNIX-miljø på Institut for Planlægning som en del af grundlag for GIS-T projektet.

1995, Deltaget i Pædagogisk kursus, afholdt af DTU.

1996, Deltaget i ph.d. kursus om brugen af GIS.

APPENDIKS II

Oversigt over kort og undersøgelselementer i forbindelse med Landsplanredegørelsen [Thorlacius, P. (1995)].

Kort nr.	Scenarie	Undersøgelsesobjekter	Transportmidler	Tidsinterval [min]
1	1995	Overordnet statsligt servicecenter	Alle	30
2	1995	Overordnet statsligt servicecenter	Overflade	30
3	1995	Overordnet statsligt servicecenter	Tog	30
4	1995	Overordnet statsligt servicecenter	Bil	30
5	1995	Overordnet servicecenter	Alle	30
6	1995	Overordnet servicecenter	Overflade	30
7	1995	Overordnet servicecenter	Tog	30
8	1995	Overordnet servicecenter	Bil	30
9	1995	Landsdelscenter	Overflade	15
10	1995	Landsdelscenter	Tog	15
11	1995	Landsdelscenter	Bil	15
12	1995	Udenrigslufthavn	Alle	15
13	1995	Udenrigslufthavn	Overflade	15
14	1995	Udenrigslufthavn	Tog	15
15	1995	Udenrigslufthavn	Bil	15
16	1995	Overordnet jernbanestation	Bil	10
17	1995	Motorvejstilkørsel	Bil	10
18	1995	Indenrigslufthavn	Bil	10
19	1995	Kombiterminal	Lastbil	15
20	2005	Overordnet statsligt servicecenter	Alle	30
21	2005	Overordnet statsligt servicecenter	Overflade	30
22	2005	Overordnet statsligt servicecenter	Tog	30
23	2005	Overordnet statsligt servicecenter	Bil	30
24	2005	Overordnet servicecenter	Alle	30
25	2005	Overordnet servicecenter	Overflade	30
26	2005	Overordnet servicecenter	Tog	30
27	2005	Overordnet servicecenter	Bil	30
28	2005	Landsdelscenter	Overflade	15
29	2005	Landsdelscenter	Tog	15
30	2005	Landsdelscenter	Bil	15
31	2005	Udenrigslufthavn	Alle	15
32	2005	Udenrigslufthavn	Overflade	15
33	2005	Udenrigslufthavn	Tog	15
34	2005	Udenrigslufthavn	Bil	15
35	2005	Overordnet jernbanestation	Bil	10
36	2005	Motorvejstilkørsel	Bil	10
37	2005	Indenrigslufthavn	Bil	10
38	2005	Kombiterminal	Lastbil	15
39	2005 HF	Overordnet statsligt servicecenter	Alle	30
40	2005 HF	Overordnet statsligt servicecenter	Overflade	30
41	2005 HF	Overordnet statsligt servicecenter	Bil	30
42	2005 HF	Overordnet servicecenter	Alle	30
43	2005 HF	Overordnet servicecenter	Overflade	30
44	2005 HF	Overordnet servicecenter	Bil	30