

# Planlægning af transportkorridorer med GIS

Prioritering mellem miljø og anlægsomkostninger  
(CODE-TEN)

Af

**Jacob Kronbak, Claus Rehfeld, Bo Grevy & Steen Leleur**  
Institut for Planlægning (IFP), Danmarks Tekniske Universitet (DTU)

## 1 Indledning

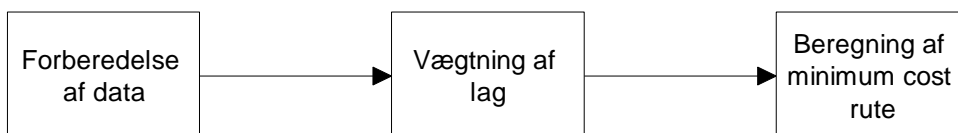
Formålet med dette paper er, at beskrive brugen af geografiske informationssystemer (GIS) som et værktøj i forbindelse med planlægningen af transportkorridorer. Udgangspunktet for beskrivelsen er planlægningsværktøjet COPE<sup>1</sup>, der indgår som en del af det igangværende CODE-TEN projekt ved IFP. Som en illustration af værktøjets virkemåde er som case valgt anlæggelsen af en højhastighedsbane fra Ringsted til Rødby i forbindelse med den mulige Femer Bælt forbindelse. Illustrationerne fra denne case stammer fra TEN-ASSESS projektet, hvor COPE modellen har været anvendt.

COPE baserer sig til en vis grad på Erik Kjems' projekt fra 1996 [Kjems, (1996)]. Principperne for anvendelsen af raster GIS i relation til korridorplanlægning behandles således ikke nærmere, idet dette paper fokuserer på selve planlægningsprocessen<sup>2</sup>.

## 2 Den strukturelle opbygning af et korridorplanlægningsværktøj

Kjems [Kjems, (1996)] opdelte implicit korridorplanlægningen i en struktureret sekventiel proces med tre mere eller mindre uafhængige trin som vist i Figur 1.

**Figur 1.** Den grundlæggende sekventielle struktur for et værktøj til korridorplanlægning (baseret på [Kjems, (1996)]).



Korridorplanlægning er ofte mere kompleks end den sekventielle tilgang for korridormodellen i Figur 1 antyder. Ofte 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.

Igennem vægtningen af lagene tages der hensyn til de forskellige bindinger, der måtte være ved fastlæggelsen af linieføringen. Det vil med andre ord sige, at denne vægtning er en måde at analysere, hvordan forskellige planlægningsmål vil influere på korridorplanlægningen.

I afsnit 2.1 beskrives den tilgang til trafikplanprocessen, der har været udgangspunktet for COPE modellen og i afsnit 2.2 beskrives så strukturen for selve COPE modellen. De efterfølgende afsnit 2.3, 2.4 og 2.5 behandler

---

<sup>1</sup> COrridor PPlanning and EEvaluation [Kronbak, J. (1998)].

<sup>2</sup> For en nærmere beskrivelse af brugen af raster-GIS se evt. [ARC/INFO, (1991A)& ARC/INFO, (1991B)]

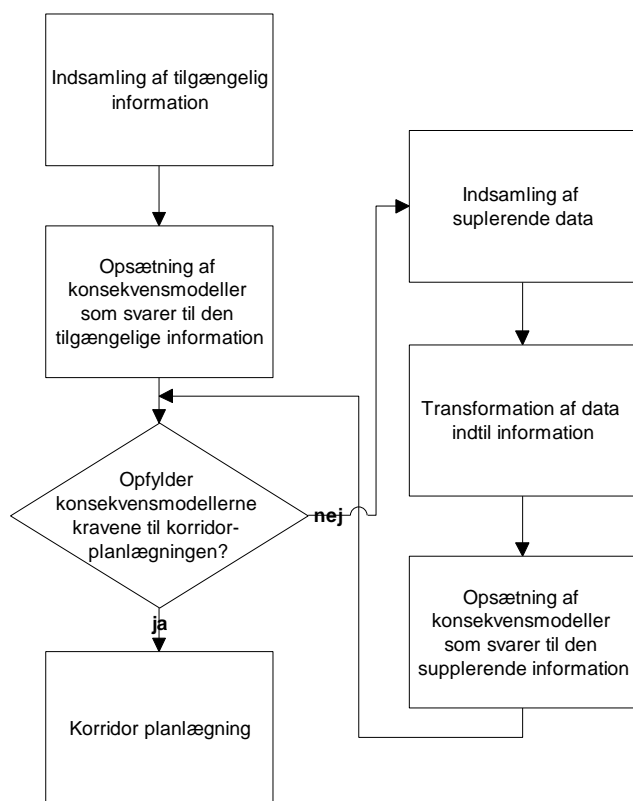
de enkelte moduler i COPE modellen og endelig afsluttes paperet med en række illustrationer fra COPE modellen.

## 2.1 Afhængigheden mellem tilgængelig information og konsekvensmodel

Geografiske informationssystemer (GIS) er optimeret imod håndtering af 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 konsekvensevurdering. Denne afhængighed mellem den tilgængelige information og konsekvensmodellerne kan kaldes Information-Konsekvens afhængigheden (Information-Impact dependency) [Kronbak, J. (1998)].

Man kan opstille en struktur der tager højde for Information-Konsekvens afhængigheden i forbindelse med korridorplanlægningen, som vist i Figur 2.

**Figur 2. En struktur til indarbejdelse af Information-Konsekvens afhængigheden i forbindelse med korridorplanlægning.**



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 konsekvensberegningsmodeller 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

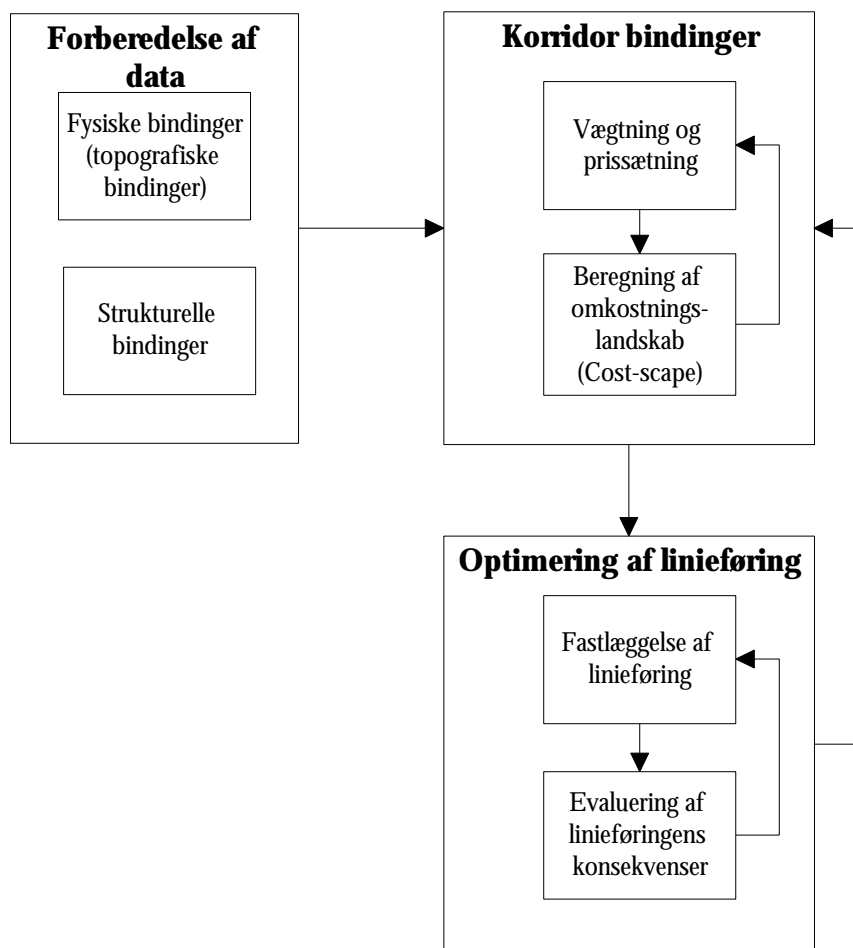
konsekvensberegningsmodeller kan anvendes eller det vil være nødvendig at opstille eller anvende modeller der passer til de tilgængelige data. Denne procedure gentages indtil der er balance mellem mål og begrænsninger.

Den Informations-Konsekvens afhængighed der er beskrevet i dette afsnit er forsøgt inkorporeret i strukturen for COPE korridormodellen som præsenteres i det efterfølgende afsnit 2.2.

## 2.2 Den strukturelle opbygning af COPE modellen

Udgangspunktet for COPE modellen har været den tretrins sekventielle struktur fra Figur 1, men samtidig er der i strukturen for modellen forsøgt at tage højde for den Information-Konsekvens afhængighed der er beskrevet i afsnit 2.1 og skitseret i Figur 2. Resultatet er blevet en tretrins *rekursiv* struktur, som kan ses i Figur 3.

Figur 3. Strukturen for COPE modellen.



Som det fremgår af Figur 3 er de tre hovedkomponenter fra den sekventielle korridormodel 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.

## 2.3 Forberedelse af data

I en korridormodel vil data skulle beskrive de bindinger der eksisterer i korridoren og som skal indgå i beregningen af et omkostningslandskab<sup>3</sup>. Man kan vælge at skelne mellem fysiske (topografiske) bindinger og strukturelle bindinger.

### 2.3.1 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. højspændingskabler mm.)
- Områder uden adgang (militære anlæg, naturreservater, historiske lokaliteter osv.)

### 2.3.2 Strukturelle bindinger

De strukturelle bindinger er relateret til den måde, hvorpå de enkelte elementer eller områder er organiseret. I forbindelse med korridorplanlægning for højhastighedsforbindelser (HST<sup>4</sup> 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.

## 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 en diskussion af selve vægtningen og værdisætningen ikke målet med dette paper. Fokus er udelukkende på de muligheder for vægtning og prissætning, der er relateret til den strukturelle opbygning af COPE modellen.

Vægtningen og prissætningen i en GIS-baseret korridormodel hænger nøje sammen med den måde, hvorpå data er repræsenteret i det geografiske informationssystem. Det betyder, at vægtningen og prissætningen kan opdeles i to indbyrdes afhængige typer af vægtning og prissætning: Vægtning og prissætning mellem de enkelte

---

<sup>3</sup> Et omkostningslandskab er en grafisk repræsentation af omkostningen ved etableringen af en linieføring gennem et givent område (se også afsnit 2.4.4).

<sup>4</sup> High Speed Train.

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 1<sup>5</sup>.

**Tabel 1. Tre af de 4 kombinationer af vægtning og prissætning i en GIS-baseret korridormodel.**

	Relativt mål	Absolut mål	Kombineret mål
<b>Inden for lag</b>	Vægtning	Prissætning	Vægtning
<b>Mellem lag</b>	Vægtning	Vægtning	Prissætning

De tre skitserede kombinationer af vægtning og prissætning vil kort blive gennemgået i det følgende.

### 2.4.1 Relativt mål

Korridorprojektet beskrevet i [Kjems, (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 procentuel 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 har dermed ingen samfundsøkonomisk tolkning. Hvis man ønsker en klar tolkning og gennemskuelighed i lagenes betydning for korridorens omkostningslandskab ved forskellige planlægningsmål er det altså nødvendigt, at anvende en prissætning enten inden for de enkelte lag eller mellem lagene. Det relative mål er imidlertid anvendelig i situationer hvor adgangen til data er begrænset eller hvis man ønsker et hurtigt overblik over korridoren på skitseniveau.

### 2.4.2 Absolut mål (prissætning indenfor laget)

Formålet med et absolut mål er at 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. vægtning mellem de forskellige lag betragtes som et udtryk for et valg af strategi eller en specifik 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 passage af 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 vægtning. Denne vægtning kan baseres på en simpel empirisk vægtning eller en operationel MCA metode som f.eks. WARP (weight-and-rank-procedure) [Leleur, S. (1995)].

### 2.4.3 Kombineret mål (værdisætning mellem lagene)

Det kombinerede mål minder om det absolutte mål, men det kombinerede 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.

---

<sup>5</sup> Den sidste mulighed er en prissætning både inden for laget og mellem lagene, men det giver ikke rigtig nogen mening i denne sammenhæng.

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 vægtning 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.

#### **2.4.4 Beregning af omkostningslandskabet**

Omkostningslandskabet er det direkte udtryk for den kombinerede effekt af vægtningen og prissætningen. Imidlertid er det i visse geografiske informationssystemer<sup>6</sup> 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 på visualisering af henholdsvis omkostningslandskab og korridorlandskab kan ses i det efterfølgende afsnit 3.

### **2.5 Optimering af linieføringen**

Som det fremgår af Figur 3 kan optimeringen af linieføringen beskrives ved en iterativ proces bestående to trin. De to trin er henholdsvis en fastlæggelse af linieføringen og en evaluering af linieføringens konsekvenser.

#### **2.5.1 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.

#### **2.5.2 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, evt. efterfulgt af fastlæggelsen af en ny linieføring. Denne relation modelleres i COPE modellen med et 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 konsekvensberegningsmodeller. 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 tilgængelighed og strategisk mobilitet. I dette tilfælde vil planlægningsmålene være modstridende og en for samfundet optimal linieføring må findes.

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.

---

<sup>6</sup> Bl.a. i ARC/INFO som er anvendt i forbindelse med dette projekt.

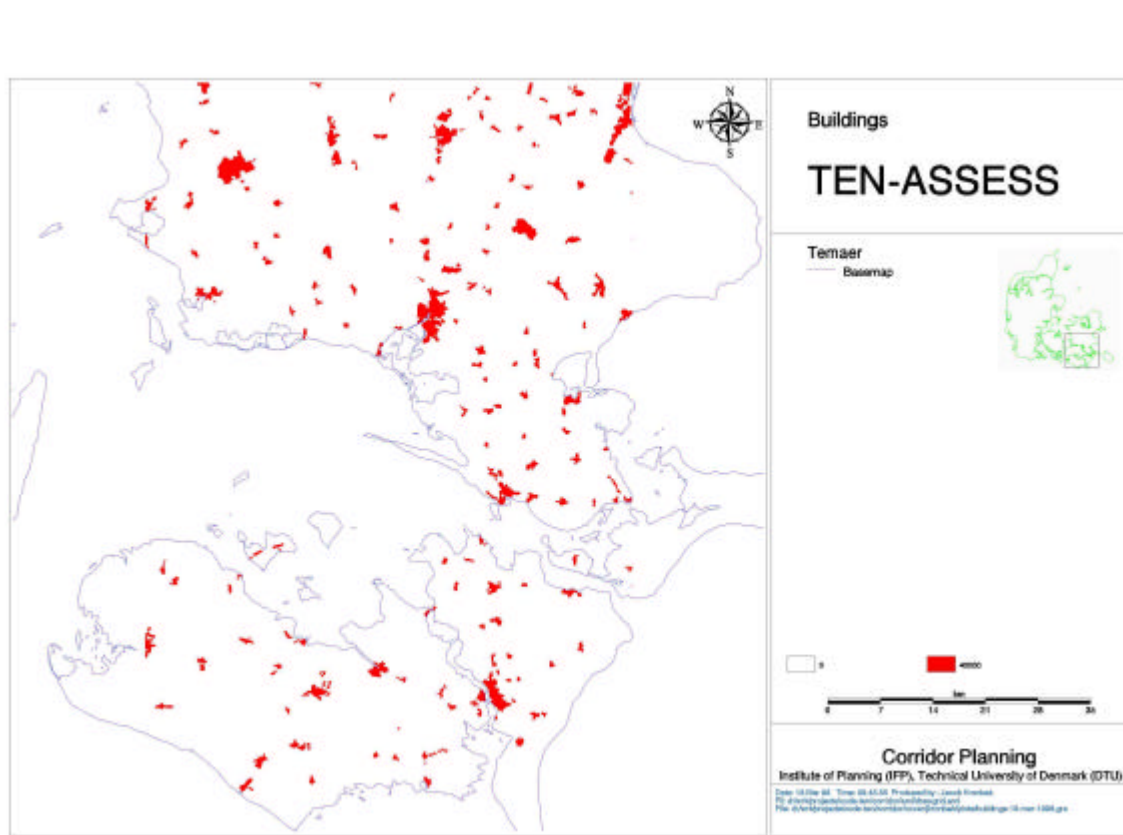
### 3 Case: Anvendelsen af GIS til planlægning af en HST korridor

For at eksemplificere den struktur for COPE modellen, der er gennemgået i afsnit 2, vises i dette afsnit en række illustrationer. I forbindelse med TEN-ASSESS projektet blev der gennemført et eksplorativt eksempel baseret på COPE modellen. 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.

Eksemplet omhandler transportkorridoren fra Ringsted til Rødby, idet strækningen mellem Ringsted og Rødby eventuelt vil indgå i en etablering af en højhastighedsbane imellem København-Hamburg.

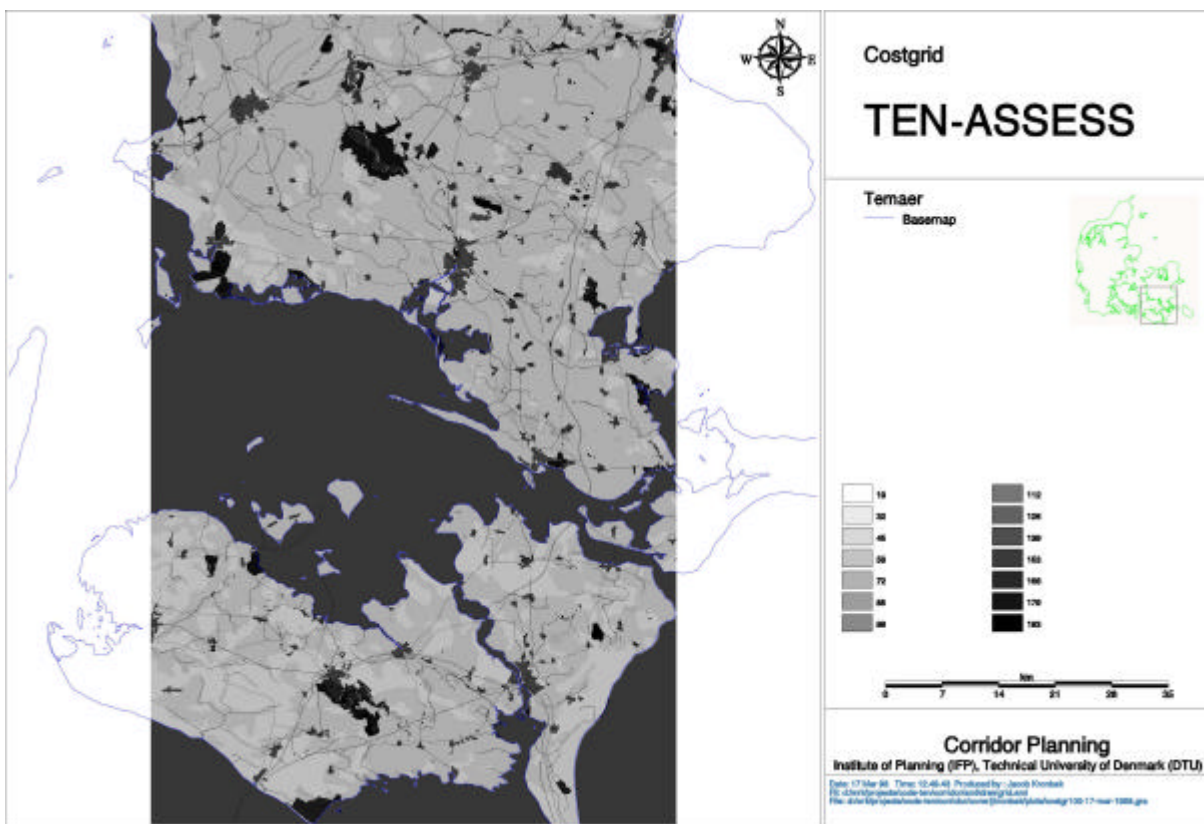
Digitale vektor data for arealanvendelsen er blevet udlånt af Kort- og Matrikelstyrelsen (KMS) og siden transformeret til raster. Der indgik lag for jordbund, bygninger, skov, vandløb, søer, fredede områder, veje og jernbaner. Som et eksempel på disse data kan på Figur 4 ses de bebyggede områder på Sydsjælland, Lolland, Falster og Møn.

**Figur 4. Bebyggede områder på Sydsjælland, Lolland, Falster og Møn.**



Hver af disse lag blev prissat i forhold til omkostningen ved at etablere en jernbane gennem objekterne. Der blev i denne case 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 5. 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.

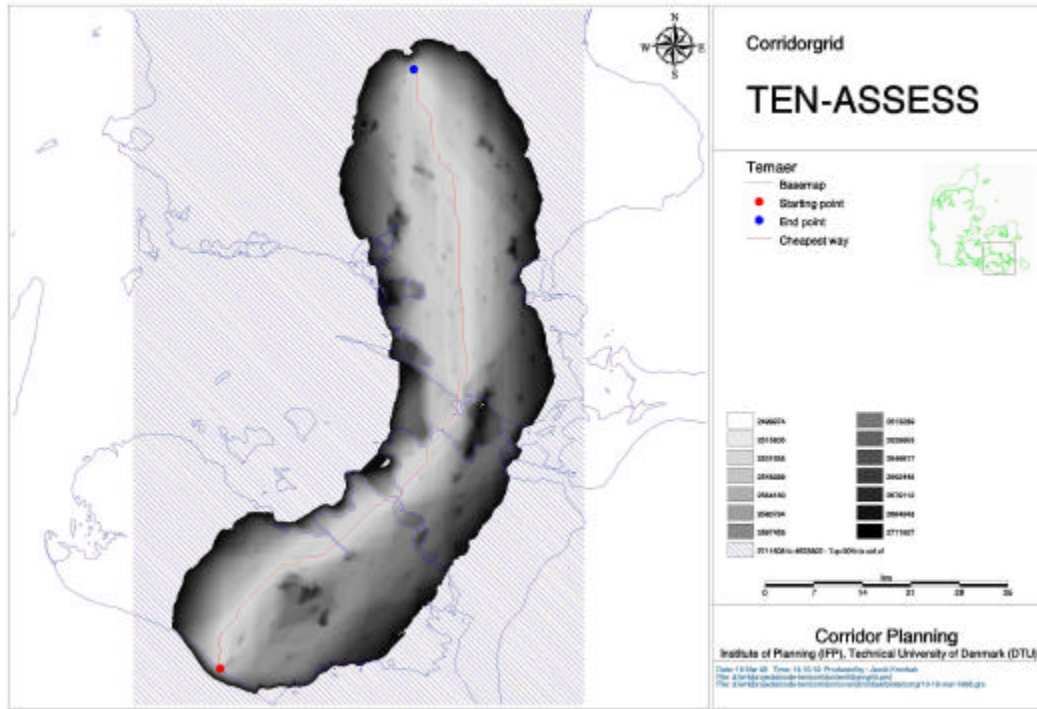
**Figur 5. Omkostningslandskabet for en HST-korridor mellem Ringsted og Rødby.**



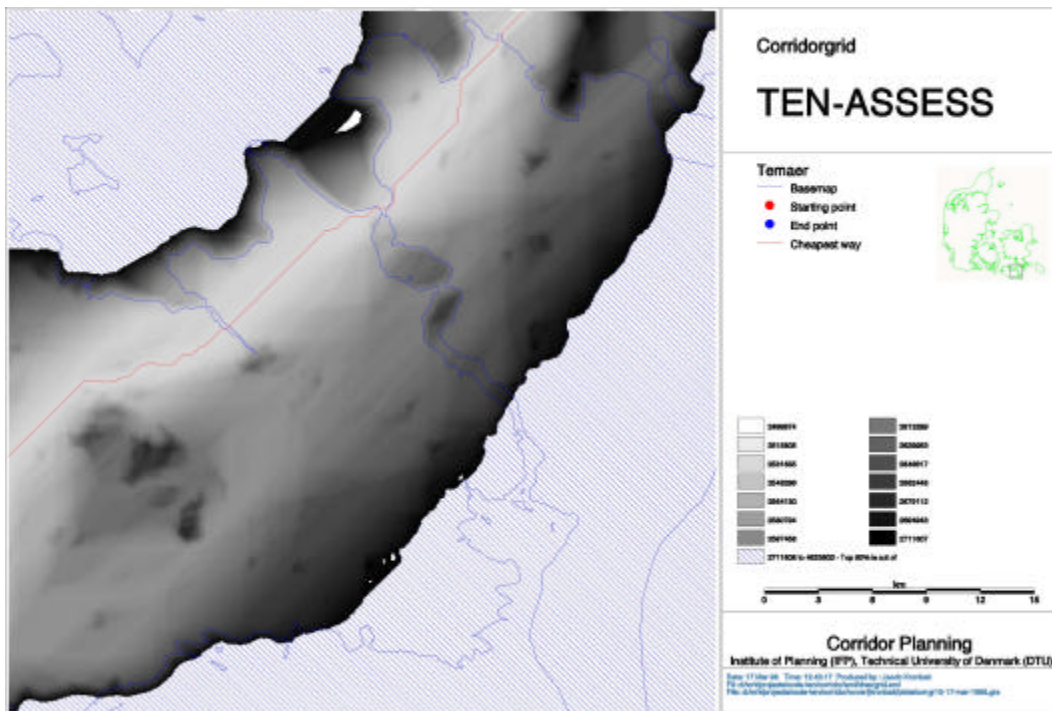
Som det fremgår af Figur 5 er det relativt dyrt, at føre linieføringen over vand, hvorfor havet fremtræder som et sammenhængende mørkt område. Desuden er det muligt at genkende mønsteret fra Figur 4, idet det er forbundet med en betydelig omkostning at placere linieføringen gennem bebyggede områder. De øvrige mørke pletter på omkostningslandskabet stammer hovedsageligt fra vådområder og søer. Visse geografiske informationssystemer har mulighed for at visualisere omkostningslandskabet som et korridorlandskab. Korridorlandskabet i Figur 6 er baseret på omkostningslandskabet vist i Figur 5.



**Figur 6. Korridorlandskabet for transportkorridoren mellem Ringsted og Rødby.**



**Figur 7. Udsnit af transportkorridoren mellem Ringsted og Rødby.**



Ved den type illustration der er vist i Figur 6 beregner det geografiske informationssystem den billigst mulige vej gennem omkostningslandskabet (vist med en optrukken linie i Figur 6). Man skal dog være opmærksom på, at modulet til optimering af linieføringen endnu ikke er færdig implementeret. Den viste linieføring er således ikke justeret ud fra baneprojekteringsregler.

Den relative stigning i anlægsomkostningen kan aflæses i farvenuancerne omkring den billigst mulige vej. På Figur 7 kan ses et udsnit af korridorlandskabet omkring Guldborgsund. Det fremgår af Figur 7 hvordan omkostningen ved at lade linieføringen løbe over vand tvinger korteste vej algoritmen til at krydse Guldborgsund hvor afstanden er kortest. Samtidig ses hvordan dybden 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.

## 4 Konklusion

Som det blev nævnt i indledningen er videreudviklingen af COPE modellen en del af det igangværende CODE-TEN projekt. Det betyder, at f.eks. modulet til optimering af linieføringen på nuværende tidspunkt endnu ikke er implementeret. Det ændrer dog ikke på det forhold, at perspektivet ved at implementere en korridormodel i GIS er lovende. Det rumlige aspekt af korridorplanlægningen det oplagt at anvende de metoder og værktøjer der stilles til rådighed i 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 vigtigt at erkende, at strukturen for korridormodellen COPE først vil kunne evalueres endelig i det øjeblik modellen er fuldt implementeret.

## 5 Litteratur

- Kjems, (1996): "Raster-GIS i vejplanlægning", Trafikdage på Aalborg Universitet, Transportrådet og Trafikforskningsgruppen, Aalborg Universitet, 1996.
- ARC/INFO, (1991A): "ARC/INFO Data Model, Concepts, & Key Terms, Environmental Systems Research Institute (ESRI), INC., 1991.
- ARC/INFO, (1991B): "ARC/INFO Cell-based modelling with GRID, Environmental Systems Research Institute (ESRI), INC., 1991.
- Kronbak, J. (1998): "Trafikplanlægning og GIS-baseret konsekvensberegninger", Ph.D. afhandling, Institut for Planlægning, Danmarks Tekniske Universitet, 1998.
- EUNET (1997): "WP1 Task 1.3: Final Version of Internal Report about EUNET Transport Evaluation Framework, Danish EUNET Project Team: IVTB & COWI, March 1997.
- Khisty, J. & Leleur, S. (1997): "Societal Planning: Identifying a New Role for the Transport Planner"-Part I & II, Innovation, Vol. 10, No.1.
- Leleur, S. (1995): "Road Infrastructure Planning – A Decision-Orientated Approach", Polyteknisk Forlag 1995.