

# Beslutningsstøttemetoder i jernbaneplanlægning

“Trafikdage på Aalborg Universitet”  
30.–31. august 1999

Stine Gissel, Ph.D. studerende\*  
Banestyrelsen rådgivning  
Transportplanlægning  
Pilestræde 58  
1112 København K  
email: sg@rdg.bane.dk

## 1 Indledning

I Danmark har evalueringen af baneinfrastrukturprojekter traditionelt været baseret på anlægsomkostninger og (uformaliserede) kvalitative beskrivelser af udvalgte effekter. Siden 1987 har VVM-undersøgelser været obligatoriske for projekter, som har potentielle miljømæssige påvirkninger. Sådanne VVM-undersøgelser koncentrerer primært om lokale miljømæssige effekter af infrastrukturens placering i landskabet. Først i forbindelse med de senere års større infrastrukturprojekter (baneudvidelsen i Østjylland, København–Ringsted) er der blevet udarbejdet samfundsøkonomiske analyser i et forsøg på at medtage relevante samfundsmæssige effekter i beslutningsgrundlaget for projekterne. Selvom disse samfundsøkonomiske (cost-benefit) analyser indebærer grundige beskrivelser af en række væsentlige effekter, er der problemer forbundet med denne metode som primært metodisk beslutningsgrundlag. Dels kan en række effekter ikke værdisættes, og dels er baneprojekter ofte karakteriseret ved langsigtede strategiske effekter, der — hvis de overhovedet kan værdisættes — som følge af diskonteringen ikke “anerkendes” i en cost-benefit analyse. På grund af problemer med at værdisætte en række af effekterne vil nogle af enhedspriserne i en cost-benefit analyse desuden være delvist baseret på subjektive afgørelser — uden at denne subjektivitet er synlig i beslutningsprocessen.

Udviklingen af beslutningsgrundlaget henimod VVM-undersøgelser på den ene side og samfundsøkonomiske analyser på den anden reflekteres også i det aktuelle beslutningsmiljø, hvor konflikten mellem miljømæssige hensyn og et effektivt transportsystem afspejles i forskellige beslutningstageres præferencer. Med mange (og ofte modsat rettede) effekter af infrastrukturinvesteringer, og uden en metodisk tilgang til afvejningen mellem effekter, bliver beslutningsprocessen nemt uigennemsigtig og uoverskuelig — både for beslutningstagere og befolkningen generelt.

I denne artikel præsenteres en såkaldt “multiattribute decision aid method” (forkortes her; MADA metode). MADA metoder er beslutningsstøttemetoder til brug ved beslutningsproblemer, som er karakteriseret ved et begrænset antal alternativer med mange — ofte modstridende —

---

\*Ph.D. studiet, som afsluttes med en forsvarshandling d. 22. september 1999, er tilrettelagt i et samarbejde mellem Danmarks Tekniske Universitet og Banestyrelsen rådgivning, og det har modtaget finansiel støtte fra Transportrådet.



Figur 1: Alternative linieføringsforslag i København–Ringsted projektet. Udbygning af den eksisterende strækning er angivet med lilla, nybygningsforslaget er angivet med blå, og kombinationsløsningen er angivet med grønt. (Den eksisterende banestrækning er angivet med sort).

egenskaber. Metoderne består af tre grundelementer; mængden af alternativer, mængden af effekter (*attributter, egenskaber*) som beskriver alternativerne, samt beslutningstagerens (evt. flere beslutningstageres) præferencestruktur. Med dette sidste element anerkendes den subjektivitet, der er repræsenteret ved beslutningstagerens afvejning af forskellige effekter — og samtidig indgår denne subjektivitet som en eksplicit del af metoden<sup>1</sup>.

Den præsenterede metode er en “hybrid” metode, som kombinerer en effektiv udnyttelse af tilgængelig information med en forholdsvis lettilgængelig metode. Et væsentligt element af den metodiske ramme er desuden *vægtprofilanalyse*, hvor konsekvenser af forskellige (subjektive) præferencer belyses.

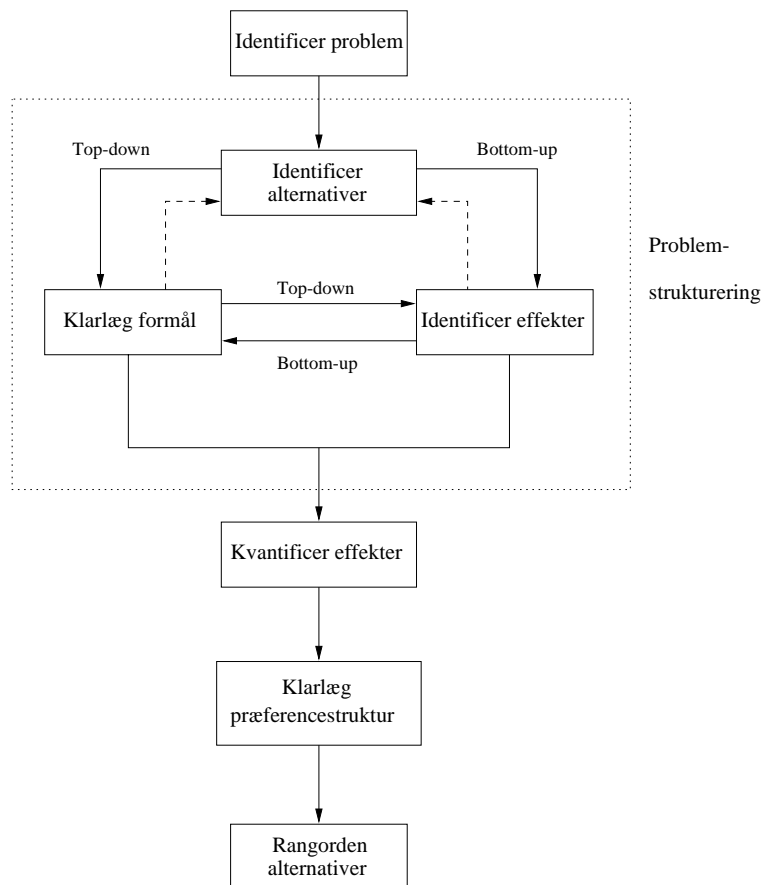
Figur 1 illustrerer de forskellige hovedforslag til linieføringer i København–Ringsted projektet. Dette praktiske eksempel anvendes til kort at illustrere metodens potentiale som beslutningsstøtteværktøj.

## 2 Hybridmetoden

Strukturen i MADA metoder kan generelt beskrives som i figur 2.

I en iterativ proces (problemstruktureringen) identificeres og klarlægges alternativer, formål og effekter. Ofte vil det være en fordel at organisere effekterne i et *effekthieraki*, hvor effekterne samles i grupper som på naturlig vis repræsenterer mere overordnede effekter (eller formål). Et sådant hieraki kan udledes top-down med udgangspunkt i de overordnede — eventuelt implicit formulerede — målsætninger, eller bottom-up på basis af de specifikke effekter af de givne alternativer. For København–Ringsted projektet antages effekthierakiet i figur 3 at være relevant. Figuren illustrerer kun de øverste niveauer i hierakiet, og hver af “nederste-niveau” effekterne (i

<sup>1</sup>I enkelte tilfælde introduceres subjektiviteten allerede i kvantificeringen af effekter; idet effekter, som ikke umiddelbart kan kvantificeres — og som heller ikke har nogen naturlig potentiel proxy-variabel — må “kvantificeres” ved hjælp af en pointskala.



Figur 2: Den generelle struktur i MADA metoder.

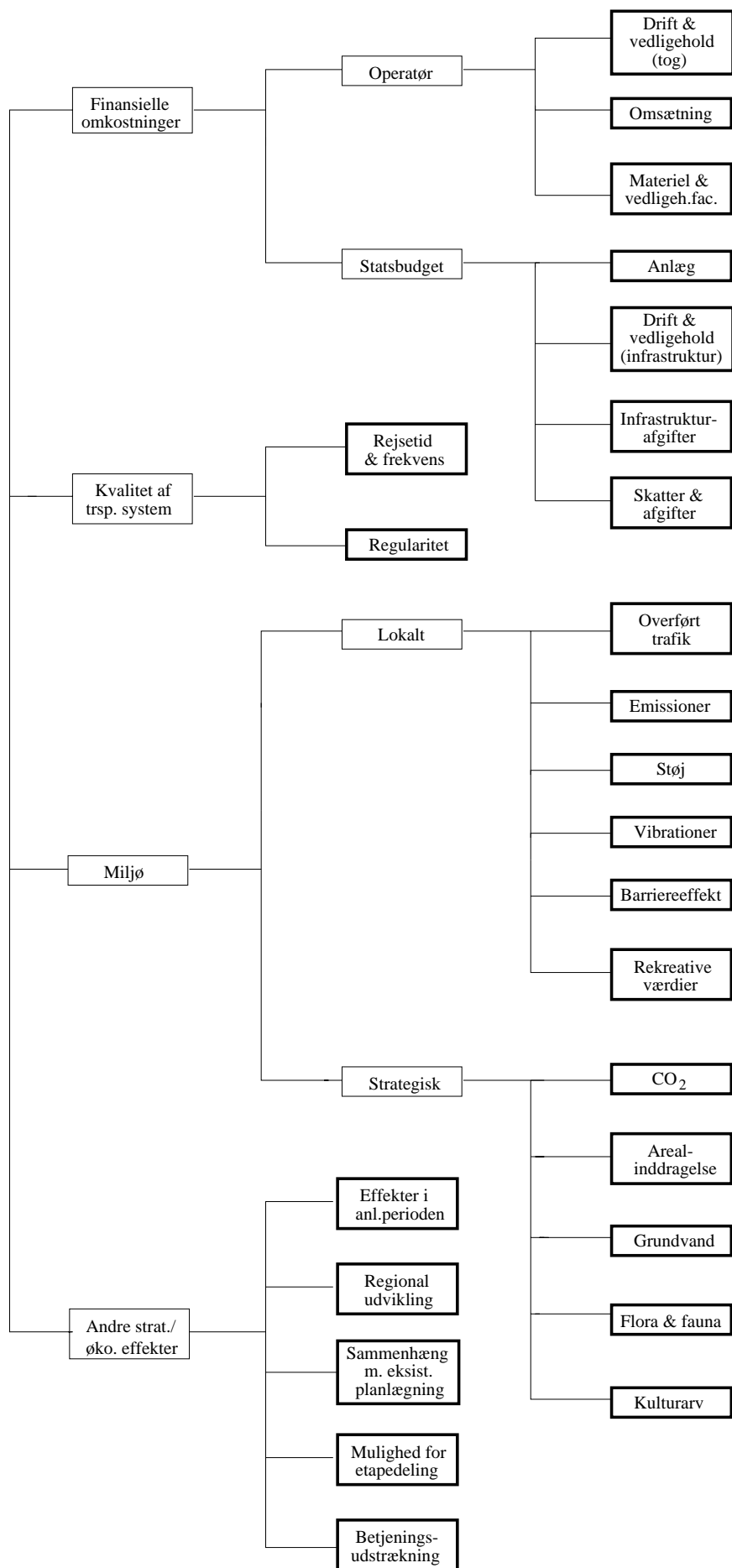
fedt optrukne kasser) vil generelt kunne specificeres yderligere. F.eks. kan effekten “rekreative værdier” beskrives ved en kategorisering af de forskellige *typer* af rekreative værdier, som berøres af anlægget.

Når det fuldstændige effekthieraki er identificeret, kan effekterne på det nederste niveau kvantificeres. For effekter, som ikke umiddelbart kan kvantificeres, benyttes proxy variable eller eventuelt en “pointsskala”.

Næste fase i processen indebærer en klarlæggelse af beslutningstagerens præferencer. Disse præferencer antages generelt at kunne udtrykkes som relative *vægte* på de forskellige effekter. Informationen i sådanne effektvægte afhænger dog af, om vægtene forholder sig til niveauet for de givne effekter, eller om de udtrykker en mere generel betydning (eller “vigtighed”) af de forskellige effekter. Helt overordnet skelnes der mellem ordinale vægte og kardinale vægte. De ordinale vægte udtrykker alene en rangordning af effekter (“én effekt vægtes højere end en anden”) mens de kardinale vægte også giver information om graden af de relative præferencer (“én effekt vægtes så-og-så-meget højere end en anden”).

De kardinale effektvægte kan kategoriseres yderligere:

- Generelle betydningsvægte: Disse effektvægte udtrykker en generel betydning af effekter og er dermed uafhængig af givne (kvantificerede) *niveauer*.
- Svingvægte: Disse vægte udtrykker den relative betydning af udsvingene i de forskellige effektniveauer.
- Substitutionsrater: Substitutionsrater hidrører fra nytteteorien og udtrykker den nødven-



Figur 3: Forslag til effekthieraki for København–Ringsted projektet.

dige kompensation i én effekt ved ændring i niveauet af en anden<sup>2</sup>.

De forskellige typer af MADA metoder karakteriseres ved forskelle i kravene til informationsniveauet (specielt effektvægte) såvel som forskelle i selve metoden. MADA metoder kan helt overordnet kategoriseres i tre hovedtyper:

1. “Naive” metoder til brug ved relativt simple beslutningsproblemer
2. “Outranking” metoder, som er metodiserede antagelser om, hvorledes en rationel beslutningstager vil gribe beslutninger an
3. “Multiattribute utility” metoder, som er metoder baseret på nytteteoretiske antagelser

I Gissel (1999) præsenteres en *hybridmetode*, som er baseret på en integration af to principielt forskellige MADA metoder; ELECTRE metoden og “multiattribute value” metoden (MAVT) — tilhørende henholdsvis 2. og 3. ovenfor. I MAVT metoden antages beslutningstageren at have et prædefineret komplet præferencesystem, som gør ham i stand til at udtrykke sine præferencer på alle aspekter af beslutningsproblemet. I ELECTRE (og i “outranking” metoder generelt) antages beslutningstageren kun at have en *idé* om effekternes relative betydning. Denne forskel i synet på beslutningstageren medfører, at metoderne bl.a. karakteriseres ved forskelle i kravene til effektvægtene. MAVT metoden kræver således meget detaljeret information om både de kvantificerede effekter og beslutningstagerens præferencer. Det gør det vanskeligt at anvende metoden i tidlige projektplanlægningsfaser, hvor projektets konsekvenser kan være meget overordnet beskrevet. Desuden kan det i praksis vise sig at være en vanskelig opgave at afæske beslutningstageren vægte på det detaljeringniveau som metoden påkræver (dvs. svingvægte eller substitutionsrater) — specielt mellem effekter af meget forskellig karakter (som f.eks. “CO<sub>2</sub> emissioner” og “regional udvikling”). I ELECTRE metoden derimod, er fortolkningen af effektvægtene (eller manglen på samme) til tider genstand for kritik (Gissel (1999)). Effektvægtene i ELECTRE har ikke noget aksiomatisk grundlag og kan alene fortolkes som et generelt udtryk for effekternes relative betydning. Sådanne betydningsvægte forekommer for simple ved afvejning mellem meget specifikke kvantificerede og til en vis grad “sammenlignelige” effekter, dvs. mellem “lavere-niveau effekter” i effekthierakiet (f.eks. mængden af emissioner og støjniveauet).

Idéen med hybridmetoden er derfor en maksimal udnyttelse af den information (om effekter og præferencer) der er til rådighed. På de laveste niveauer i effekthierakiet udnyttes, at effektvægte kan udtrykkes i relation til de kvantificerede niveauer indenfor grupper af effekter — dvs. som svingvægte<sup>3</sup> — mens det for “højere-niveau” effekter (som f.eks. mellem “finansielle omkostninger” og “miljø”) respekteres, at effektvægte som oftest kun kan udtrykkes ved effekternes generelle relative betydning — dvs. som betydningsvægte. Dermed anvendes MAVT metoden på grupper af “lavere-niveau” effekter, og resultaterne af disse disaggregerede analyser fungerer derpå som input i ELECTRE metoden, som anvendes på den øverste del af effekthierakiet. Se desuden Gissel (1999) for en mere detaljeret beskrivelse af metoden.

### 3 Vægtprofilanalyse

*Vægtprofilanalyse* kombineret med *robusthedsanalyse* er en væsentlig del af hybridmetoden som beslutningsstøttemetode. Denne integrerede analyse relaterer til de usikkerheder, der er forbundet med effektvægtene. En “vægtprofil” defineres i Gissel (1999) som et sæt af effektvægte, der repræsenterer et givet individs (eller en given interessegruppes) præferencer. Sådanne vægtprofiler vil ofte være karakteriseret ved høje vægte på specifikke effekter og nul-vægte på de

<sup>2</sup>Ved konstant marginalnytte af effekter er substitutionsraterne givet som svingvægte.

<sup>3</sup>Det antages generelt at disse effektvægte — for lavere-niveau effekter — bliver udtrykt som svingvægte.

resterende. Vægtprofilanalyse refererer således til analyser af, hvorledes forskellige præferencer (repræsenteret ved givne vægtprofiler) indvirker på konklusionen af beslutningsstøtteanalysen.

Det vurderes, at for København–Ringsted projektet (og for mange andre investeringer i trafikal infrastruktur) vil følgende fire vægtprofiler være repræsenteret i beslutningsprocessen (se også Gissel (1999)):

Vægtprofil 1: *Fortaleren for et effektivt og konkurrencedygtigt offentligt transportsystem.* Et individ med denne vægtprofil har som sin primære interesse, at det offentlige transportsystems konkurrenceevne forbedres, og dermed er kun effekter relateret hertil af betydning.

Vægtprofil 2: *Vogteren af økonomiske og planlægningsmæssige aspekter.* Et individ repræsenteret ved denne vægtprofil har som sin hovedinteresse, at det valgte alternativ er i overensstemmelse med nationale økonomiske målsætninger såvel som eksisterende planlægning (på alle politisk/administrative niveauer).

Vægtprofil 3: *Miljøforkæmperen.* Dette individ bekymrer sig hovedsageligt om projektets mulige påvirkninger af det strategiske miljø, dvs., de mere langsigtede miljøpåvirkninger.

Vægtprofil 4: *Lokalpolitikeren.* Et individ med denne vægtprofil ser som sin hovedopgave at beskytte lokalsamfundets (beboeres og virksomheders) interesser. Dermed er effekter, der berører beboeres velfærd og lokale virksomheders konkurrenceevne af primær interesse.

I mangel af et reelt sæt effektvægte, udledes i Gissel (1999) et sæt “default” effektvægte. Disse baseres så vidt muligt på eksisterende vægte som givet ved enhedspriserne i den samfundsøkonomiske analyse af projektet<sup>4</sup> (Banestyrelsen (1998)) og suppleres med skønnede vægte. På basis af denne default vægtprofil, vil de fire vægtprofiler ovenfor kunne specificeres i København–Ringsted projektet som i tabel 1. Disse fire vægtprofiler resulterer i hver sin rangordning af alternativerne, som givet i tabel 2.

Forskellige vægtprofiler vil ofte resultere i forskellige rangordninger af alternativer. Samtidig skal effektvægtene i en praktisk vægtprofil sandsynligvis mere ses som relative mål for effekternes betydning end som udtryk for entydigt definerede præferencer. *Robusthedsanalyse* er derfor en vigtig del af vægtprofilanalysen. En sådan analyse indebærer, at robustheden af en given rangordning (udledt på basis af en given vægtprofil) testes med hensyn til små ændringer i de relative effektvægte. Figur 4 illustrerer f.eks., hvor meget vægten på støj skal ændres i Vægtprofil 4, før der sker en ændring med hensyn til det højst-rangerede alternativ i København–Ringsted projektet.

Robusthedsanalysen kan således illustrere, hvor der måtte være basis for eventuelle kompromiser mellem beslutningstagere med forskellige vægtprofiler, og analysen kan dermed fokusere diskussionerne i beslutningsprocessen og gøre dem mere konstruktive.

## 4 Konklusion

Hybridmetodens styrke som beslutningsstøtteværktøj ligger dels i dens fleksibilitet og dels i vægtprofilanalysen.

Integrationen mellem de to MADA metoder, ELECTRE og MAVT, bestemmes af karakteren af den givne beslutningssituation. Denne fleksible definition af hybridmetoden gør, at metoden

---

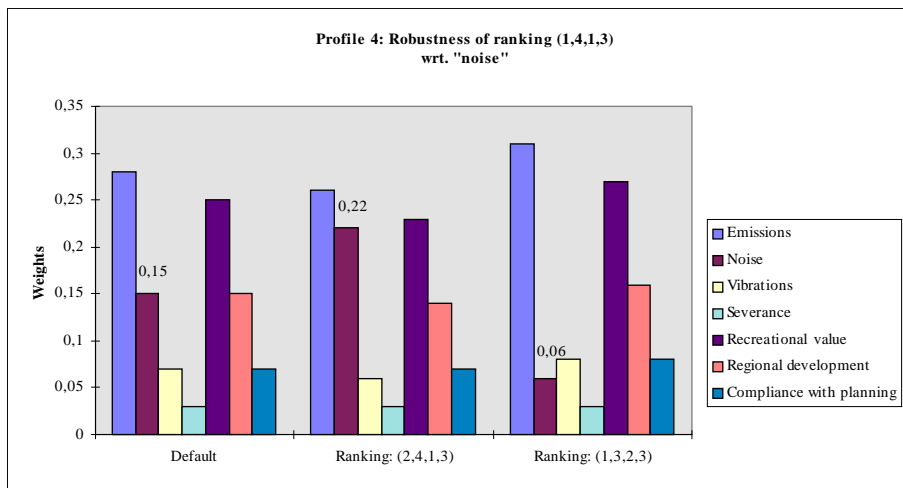
<sup>4</sup>Dog understreges “miljøforkæmperens” præferencer for det strategiske miljø fremfor lokale miljøeffekter ved en ændring af den relative vægt mellem disse to effekter.

Effekter	Vægtprofiler			
	Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4
<b>Finansielle omkostninger</b>				
Statsbudgettet	0	0.74	0	0
Operatør	0.13	0.13	0	0
<b>Kvalitet af transportsystemet</b>				
Rejsetid & frekvens	0.75	0	0	0
Regularitet	0.01	0	0	0
<b>Miljø</b>				
<i>Lokalt miljø</i>				
Overført trafik	0	0	0.10	0
Emissioner	0	0	0.09	0.28
Støj	0	0	0	0.15
Vibrationer	0	0	0	0.07
Barriereeffekt	0	0	0	0.03
Rekreative værdier	0	0	0	0.25
<i>Strategisk miljø</i>				
CO <sub>2</sub>	0	0	0.17	0
Arealinddragelse	0	0	0.26	0
Grundvand	0	0	0.04	0
Flora & fauna	0	0	0.34	0
Kulturarv	0	0	0	0
<b>Andre strategiske eller økonomiske effekter</b>				
Effekter i anlægsperioden	0.06	0	0	0
Regional udvikling	0	0.05	0	0.15
Sammenhæng med eksisterende planlægning	0	0.02	0	0.07
Mulighed for etapedeling	0	0	0	0
Betjeningsudstrækning	0.05	0.05	0	0

Tabel 1: Effektvægte i hver af de fire vægtprofiler.

Vægtprofil	Rangordning af alternativerne			
	Basis	Nybygning	Udbygning	Kombi
Profil 1	4	1	3	2
Profil 2	1	3	2	3
Profil 3	1	3	2	4
Profil 4	1	4	1	3

Tabel 2: Rangordning af alternativerne i København–Ringsted projektet for hver af de fire definerede vægtprofiler.



Figur 4: Robustheden af alternativ-rangordningen givet ved vægtprofil 4 — med hensyn til effekten “støj”.

kan tillempes forskellige typer af projekter såvel som forskellige stadier i planlægningsprocessen for et givet projekt. Ved meget overordnet beskrevne projekter baseres metoden således hovedsageligt på ELECTRE metoden, mens den for et projekt beskrevet (og kvantificeret) ned til mindste detalje i højere grad baseres på MAVT. Dette betyder, at når detaljeret information er til rådighed kan metoden udnytte denne, samtidig med at metoden kan anvendes selv når information og data er relativt udetaljerede. Metodens fleksible anvendelse kan også illustreres ved tabel 3.

Stadie i planlægningsprocessen	Variant af hybridmetoden
Overordnet planlægning af en pulje af investeringer	“Ren” ELECTRE
Tidlig planlægningsfase for et givet projekt	Hybridmetode hovedsageligt baseret på ELECTRE
Mellemliggende planlægningsfase for et givet projekt (valg af projekialternativ)	Hybridmetode med integration af ELECTRE og MAVT på et givet niveau i effekthierakiet
Designfasen (detaljeret planlægning af en given løsning))	Hybridmetode hovedsageligt baseret på MAVT

Tabel 3: Hybridmetodens anvendelse i forskellige planlægningsammenhænge — og dens relevante “definition”.

I vægtprofilanalysen analyseres eksplicit den subjektive del af beslutningsproblemet — nemlig beslutningstagernes og andre berørte parterers præferencer. Det kan anføres (og ofte med rette) at en hvilken som helst rangordning af alternativerne vil kunne udledes i en vægtprofilanalyse. Metodens fordele ligger således heller ikke i at kunne levere et entydigt færdigt svar på rette valg af alternativ. Tværtimod illustrerer vægtprofilanalysen klart, hvorledes valget mellem alternativer (som oftest) netop *ikke* er entydigt. Fordelene ved vægtprofilanalysen kan beskrives som følger:



- Vægtprofilanalysen bringer beslutningstagernes præferencer “frem i lyset”, hvilket forbedrer gennemsigtigheden af beslutninger — både for beslutningstagere selv og for den generelle befolkning.
- Eftersom præferencer bliver mere gennemskuelige for andre, vil mål og formål med projektet blive overvejet grundigere af den enkelte beslutningstager. Dette er en fordel i sig selv, men det betyder også, at hele beslutningsprocessen bliver mere grundigt forberedt.
- Inkonsistens mellem erklærede mål og den endelige vægtprofil kan påpeges i analysen. Det betyder, at det ikke er “gratis” at erklære nogle præferencer på ét tidspunkt i beslutningsprocessen og sidenhen træffe et valg, som er i modstrid med disse.
- Vægtprofilanalysen kan udpege og belyse eventuelle konflikter mellem forskellige parter præferencer, og robusthedsanalyse kan teste alvorligheden af disse konflikter. Dette vil;
- fokusere debat og diskussioner, såvel som medvirke til;
- konstruktive kompromiser.

Som nævnt i indledningen er det nuværende beslutningsmiljø omkring investeringer i trafikal infrastruktur karakteriseret ved konflikten mellem miljømæssige hensyn og et effektivt transportsystem. Den beskrevne metodiske ramme udgør et værktøj til at analysere sådanne konfliktende præferencer, og hybridmetodens effektive udnyttelse af information kombineret med vægtprofilanalysens styrker vurderes at udgøre et stærkt beslutningsstøtteværktøj, som kan bidrage til en mere struktureret beslutningsproces med en større grad af gennemsigtighed. Metoden vurderes således at kunne være til stor hjælp i beslutningsprocessen omkring baneinvesteringer såvel som mange andre typer af investeringer.

## Litteratur

Banestyrelsen (1998) København–Ringsted. Linieføringsrapport.

Gissel, S. (1999) *Decision aid methods in rail infrastructure planning*. Department of Planning, Technical University of Denmark. Ph.D. thesis.