



Multikriterieanalyser. Multikriteriemetoders anvendelse i energiscenarieanalyser

Sørensen, Lene Tolstrup

Publication date:
1995

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Sørensen, L. T. (1995). *Multikriterieanalyser. Multikriteriemetoders anvendelse i energiscenarieanalyser*. Risø National Laboratory. Denmark. Forskningscenter Risøe. Risøe-R Nr. 836(DA)

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.

Multikriterieanalyser

Risø-R-836(DA)

Multikriteriemetoders anvendelse i energiscenarieanalyser

Lene Sørensen

**Forskningscenter Risø, Roskilde
August 1995**

Resumé

Denne rapport belyser forskellige aspekter for anvendelse af de såkaldte multikriteriemetoder til løsning af energispørgsmål: muligheder for anvendelse til evaluering af energiscenarier, status for eksisterende multikriteriemetoder, kriterier for udvælgelse af en metode, undersøgelse af usikkerhedsaspekter i forbindelse med anvendelse af en multikriteriemetode, samt muligheder for mindskning af usikkerhedsaspekterne ved konstruktion og anvendelse af et beslutningsstøttesystem - en modelramme.

Det er fundet, at multikriteriemetoder kan anvendes som en del af energiscenarieanalyser, men at en sådan anvendelse stiller visse krav til analysens udførelse, såfremt man ønsker en mindskning af de tilknyttede usikkerheder. Der foreslås en modelramme, som i principper bygger på netop en mindskning af usikkerheder og anvendelse af multikriteriemetoder. Det anses for at være den bedste måde at håndtere usikkerheder på. På grund af det store antal eksisterende multikriteriemetoder er der ligeledes foreslået en måde, hvorpå vurdering og udvælgelse af den/de bedste kan foregå.

ISBN 87-550-2104-2
ISSN 0106-2840

Grafisk Service, Risø, 1995

Indholdsfortegnelse

| | |
|---|-----------|
| <i>Resumé</i> | 2 |
| <i>Indholdsfortegnelse</i> | 3 |
| <i>Forord</i> | 5 |
| <i>Introduktion</i> | 7 |
| <i>DEL 1: ENERGI OG SCENARIEANALYSE</i> | 11 |
| <i>Sammenfatning</i> | 11 |
| <i>1 Indledning</i> | 11 |
| <i>2 Energi og bæredygtighed</i> | 13 |
| <i>3 Energiscenarieanalyser</i> | 15 |
| 3.1 Scenarieanalyse..... | 15 |
| 3.2 Evaluering..... | 17 |
| <i>4 Principper for scenarieanalyse</i> | 18 |
| 4.1 Struktureringsaspekter..... | 19 |
| 4.1.1 Problembeskrivelse..... | 19 |
| 4.1.2 Interne og eksterne faktorer..... | 20 |
| 4.1.3 Betydende faktorer..... | 21 |
| 4.2 Konstruktion..... | 24 |
| 4.2.1 Fremgangsmåde..... | 24 |
| 4.2.2 Basis- og alternative scenarier..... | 25 |
| 4.3 Oversigt..... | 26 |
| <i>5 Opsummering</i> | 27 |
| <i>Referenceliste</i> | 28 |
| <i>DEL 2: MULTIKRITERIEMETODER - PRÆSENTATION OG SAMMENLIGNING</i> | 33 |
| <i>Sammenfatning</i> | 33 |
| <i>1 Indledning</i> | 33 |
| <i>2 Grundlæggende begreber</i> | 34 |
| <i>3 Principper og metoder</i> | 36 |
| <i>4 Basis for vurdering</i> | 40 |

| | |
|---|----|
| <i>5 Eksempel</i> | 46 |
| <i>6 Opsummering</i> | 49 |
| <i>Referenceliste</i> | 51 |
| | |
| <i>DEL 3: MULTIKRITERIEMODELLER - TIL ANVENDELSE OG HÅNDBLÆRSE AF USIKKERHED</i> | 55 |
| <i>Sammenfatning</i> | 55 |
| <i>1 Indledning</i> | 55 |
| <i>2 Multikriteriebeslutningsstøttesystemer</i> | 56 |
| 2.1 Den generelle ramme | 57 |
| 2.2 Eksempler | 58 |
| 2.2.1 ELECTRE | 59 |
| 2.2.2 HIPRE 3+ | 60 |
| 2.2.3 DEFINITE | 61 |
| <i>3 Usikkerhedsaspekter</i> | 64 |
| <i>4 Håndtering af centrale usikkerheder</i> | 68 |
| 4.1 Forslag til modelramme | 68 |
| 4.1.1 Struktureringsmodul | 70 |
| 4.1.2 Multikriteriemodulet | 72 |
| 4.1.3 Usikkerhedsmodul | 73 |
| 4.1.4 Opsummeringsmodul | 74 |
| 4.2 Kommentarer | 75 |
| <i>5 Opsummering</i> | 76 |
| <i>Referenceliste</i> | 76 |
| | |
| <i>Konklusion</i> | 81 |
| | |
| <i>Stikordsregister</i> | 85 |

Forord

Denne rapport er udarbejdet som afslutning på projektet: 'Metoder til håndtering af usikkerhed i multikriterieanalyser'. Projektet har været udført i perioden fra januar 1994 til juli 1995 og har været finansieret af Energiforskningsprogrammet (EFP) under Energi og Samfund, projekt nummer 1753/98-0100. Projektet har været udført ved Forskningscenter Risø, Afdelingen for Systemanalyse af projektleder Lene Sørensen.

Projektet har undersøgt forskellige aspekter for anvendelse af de såkaldte multikriteriemetoder til løsning af energispørgsmål: muligheder for anvendelse til evaluering af energiscenarier, status for eksisterende multikriteriemetoder, kriterier for udvælgelse af en metode, undersøgelse af usikkerhedsaspekter i forbindelse med anvendelse af en multikriteriemetode, samt muligheder for mindskning af usikkerhedsaspekterne ved konstruktion og anvendelse af et beslutningsstøttesystem - en modelramme. Projektets resultater er præsenteret i nærværende rapport, som er inddelt i 3 dele: '*Energi og scenarieanalyse*', '*Multikriteriemetoder - præsentation og sammenligning*', og '*Multikriteriemodeller - til anvendelse og håndtering af usikkerhed*'.

I forbindelse med projektet har der været udpeget en følgegruppe bestående af følgende personer:

Ole Bilde, Energistyrelsen
Peter Bogetoft, Landbohøjskolen
Maj Dang Trong, Energistyrelsen
Hans Ravn, Forskningscenter Risø
Victor Vidal, Danmarks Tekniske Universitet

Seks måneder af projektperioden har været udført ved Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, Californien, hvor en del af projektets udformning og resultater er skabt. Programleder Jayant Sathaye samt Ph.D. Nandita Mongia har her specielt været involveret i dele af projektet.

Roskilde, juni 1995

Lene Sørensen

Introduktion

Bæredygtig udvikling har i de senere år ligget bag formuleringen af flere nationale såvel som internationale energistrategier. Udformningen af strategierne har stillet store krav til formulering og inddragelse af målsætninger fra flere emneområder på en gang såsom energi, miljø, økonomi. Rent analytisk stiller dette store krav til fremgangsmåden, der anvendes til belysning af de tekniske og politiske aspekter bag formuleringen af strategien. Analysen skal på en eller anden måde kunne løse det multikriterieproblem, der opstår ved sammenhold og opfyldning af flere (d.v.s. multi) kriterier på en gang, samt kunne overskue og håndtere de usikkerheder, som uvægerligt vil være associeret med en sådan analyse. Rapporten belyser forskellige aspekter af en sådan analyse.

Projektet har haft til formål at:

- undersøge, hvorvidt eksisterende såkaldte multikriteriemetoder kan anvendes som en del af de energianalyser, der foretages
- beskrive eksisterende multikriteriemetoders idégrundlag, nogle af deres forudsætninger for anvendelse og deres muligheder for at håndtere usikkerhedsaspekter
- identificere usikkerheder associeret ved energianalyser og anvendelse af multikriteriemetoder som del heraf, samt at foreslå muligheder for mindskning / håndtering af usikkerhedsaspekterne
- illustrere forslagene ved hjælp af en modelramme, som kan anvendes til energianalyser, løse multikriterieproblemer samt bygge på usikkerhedsmindskende principper.

Projektet har taget udgangspunkt i et virkeligt energiproblem, hvor det har været ønsket at undersøge og identificere en bedste strategi for opfyldelse af kravet om et bæredygtigt energisystem, der kan karakteriseres som et multikriterieproblem. Projektet har med basis heri belyst de tre emneområder, som nærværende rapport er inddelt i:

- *'Energi og scenarieanalyse'*. Denne del beskriver, hvorledes bæredygtighedsbegrebet har indflydelse på energistrategier, som kan karakteriseres om multikriterieproblemer. Det forudsættes at scenarieanalyse anvendes til analyse af et sådant problem. Indholdet af energiscenarieanalyse diskuteres. Specielt lægges der vægt på de metoder, der kan anvendes til evaluering af scenarier. Såfremt en multikriteriemetode skal benyttes til evaluering af energistrategier stiller det nogle krav til struktureringen af hele scenarieanalysen. Vigtige punkter for en metodisk strukturering af scenarieanalyse diskuteres.
- *'Multikriteriemetoder - præsentation og sammenligning'*. Den anden del præsenterer idéen bag multikriteriemetoderne. Der lægges vægt på at give en oversigt over principper og metoder, der ses anvendt eller er mest omtalt i litteraturen. Præsentationen ligger til grund for at vurdere multikriteriemetodernes status, deres anvendelse og mulighed for håndtering af usikkerheder. Der foreslås 5 kriterier for en sådan vurdering. Kriterierne

bygger på brugerorienterede krav mere end matematisk teoretiske krav. Processen tager udgangspunkt i den udvælgelsesproces en bruger potentielt vil gennemgå ved udvælgelse af en metode blandt en mængde forskellige metoder. Processen kan derfor benyttes både til vurdering og til udvælgelse af metoder. Der udføres en sammenligning af 9 udvalgte multikriteriemetoder til illustration af den foreslåede vurderingsproces.

- *'Multikriteriemodeller - til anvendelse og håndtering af usikkerhed'*. Sidste del af rapporten beskæftiger sig med matematiske modeller og usikkerhed. På grund af multikriteriemetodernes kompleksitet anses det for at være sandsynligt, at de anvendes gennem brug af computermodeller eller multikriteriebeslutningsstøttesystemer. Tre eksisterende multikriteriebeslutningsstøttesystemer præsenteres som eksempler herpå. Anvendelse af modellele sætter fokus på hele problemløsningsprocessen, og det kan ses, at eksisterende metoder og modeller har begrænset fokus på usikkerhed. Der foreslås således en modelramme, hvori aspekter af usikkerhed indbygges, og usikkerheden ved selve multikriterieberegningerne mindskes. En sådan modelramme kan tænkes anvendt som del af en scenarieanalyse.

De tre dele er opbygget med selvstændige indledninger, afsnit, opsummerings- og diskussionsafsnit, således at de eventuelt kan læses uafhængigt af hinanden.

Den samlede konklusion over projektets resultater følger efter del 3.

DEL 1:

Energi og scenarieanalyse

Energi og scenarieanalyse

Sammenfatning

Langt de fleste samfundsaktiviteter er i en eller anden grad afhængige af tilstedeværelsen af energi. Ligeledes kræver mange reguleringer og /eller ændringer i samfundets aktiviteter, at der sker opfølgninger på energiområdet. Indførelsen af bæredygtighedsbegrebet involverer, at der skal tages hensyn til de integrerede årsagssammenhænge, der er i samfundet, og at der skal ske en samtidig opfyldelse af flere forskellige målsætninger og krav. Energiplanlægning støttes i høj grad af scenarieanalyser, hvor konstruktion og evaluering af relevante scenarier skal medvirke til afklaring af forskellige politiske strategier. Evaluering og udvælgelse af de scenarier, der opfylder de samtidige målsætninger og krav bedst, kan karakteriseres som et multikriterieproblem. Det anses at kunne give nogle fordele at bruge multikriteriemetoder som en del af scenarieanalysen. For at få den nødvendige basis herfor er det nødvendigt at stille nogle krav til, hvorledes resten af scenarieanalysen udføres. Der foreslås derfor nogle metodiske principper, der kan danne basis for konstruktion og evaluering af scenarier til løsning af energispørgsmål.

1 Indledning

Nationale og internationale energispørgsmål bliver konstant bredere og mere integrerede med samfundets øvrige problemer. Rent konkret vil det sige, at energispørgsmål omhandler flere og flere områder af samfundsmæssig karakter i stedet for blot at indeholde tekniske og økonomiske overvejelser knyttet til energisystemet. Brundtland rapportens (UN, 1987) indførelse af 'bæredygtighed' har været en medvirkende faktor til den øgede integrering af miljø-, energi-, økonomi- og andre samfundsområder. Løsning af energiproblemstillinger vil derfor også ganske naturligt blive mere komplekse; der er flere årsagssammenhænge at analysere, flere usikkerhedspunkter, der bliver større og flere hensyn at tage, samtidig med at flere mennesker eller grupper er involverede.

Analyse og løsning af energispørgsmål sker ofte gennem regulering, kontrol eller nyskabelse af strategier eller planer, der kan tage hånd om problemet på et eller andet tidspunkt i fremtiden. For eksempel har det globale ønske om at mindske CO₂ emissionen været medvirkende til, at man på dansk side har skabt den såkaldte Energi 2000 plan (Energiministeriet, 1990), der blandt andet har til formål at sænke den samlede danske CO₂ udledning med mindst 20% inden år 2005 baseret på 1988 niveauet. Der ligger altså naturligt ofte en tidlig forsinkelse i reguleringen af problemerne. Denne tidlige forsinkelse stiller krav til, hvor god man er til at forudse effekten af forskellige tiltag og deres indflydelse på andre problemområder. Med andre ord, scenarieanalyse spiller her en central rolle.

Der findes ikke en entydig definition eller anvisning på, hvad scenarieanalysebegrebet¹ indeholder. Som regel involverer det at udføre scenarieanalyse en form for evaluering eller sammenligning af konstruerede scenarier, der på en eller anden form afspejler forskellige tiltag og forventninger til fremtidens integrerede energisystem. Der findes ingen bestemt metode at følge i denne form for analyse, hvilket kan vanskeliggøre indsigten i underliggende beregninger og antagelser for udenforstående. Analysen har ofte til formål at konstruere en eller flere scenarier, der afspejler effekten af visse politiske tiltag, og som kan ligge til grund for yderligere diskussion.

Med indførelsen af bæredygtighedsbegrebet er der implicit stillet krav til, at energistrategier skal indeholde hensyn til flere samfundsområder på en gang. Scenarieanalyse skal således kunne beskrive integrerede aspekter såvel som at evaluere disse. Ved sammenligning og evaluering af strategier vil der derfor naturligt være tale om at skulle sammenligne måleværdier repræsenterende forskellige målsætninger og krav, som er målt i uens og ikke umiddelbart konverterbare enheder og størrelser. Problemet med denne sammenligning og evaluering kan karakteriseres som et multikriterieproblem.

Man kan basere evalueringen af energiscenarier på forskellig basis. Ofte tilknyttes en eller anden form for cost-benefit eller cost-effectiveness evaluering, eller der vælges en eller to nøgleparametre, der repræsenterer scenariets kvaliteter og forudsætninger (fragmenteret analyse). Et alternativ hertil kan være at anvende en såkaldt multikriteriemetode.

Rapportens første del undersøger, hvorvidt og i så fald, hvordan multikriteriemetoder kan indgå i energiscenarieanalyser. Multikriterieanalyser har til formål at løse multikriterieproblemer og kan således tænkes anvendt som redskab til evaluering af energiscenarier. Det antages, at energispørgsmål belyses under en eller anden form for scenarieanalyse (omhandlende problembeskrivelse, scenariekonstruktion og evaluering) og det undersøges, hvilke krav en eventuel anvendelse af multikriteriemetoderne vil stille til formen af resten af analysen. Resultatet bliver herved et forslag til energiscenarieanalyse, der bygger på formaliserede principper og anvendelse af multikriteriemetoder. Sådanne formaliserede principper anses for at kunne give den bedst mulige baggrund for anvendelsen af multikriteriemetoderne i evalueringsfasen, og samtidig give en god konsistent basis for at diskutere energipolitiske strategier.

For at undersøge behovet for anvendelse af multikriteriemetoder i energiscenarieanalyser tages der først udgangspunkt i at beskrive kompleksiteten af energiproblemer som et resultat afledt af 'bæredygtighedsbegrebet'. Dernæst diskuteres, hvad dette medfører i forholdet overfor energianalyser. Forskellige evalueringsmetoder diskuteres og sammenlignes. I denne sammenligning indgår cost-benefit, fragmenteret analyse samt multikriteriemetoder. Der foreslås dernæst en struktureret fremgangsmåde for energiscenarieanalyse baseret på anvendelse af multikriteriemetoder.

¹ Når der henvises til scenarieanalyse, er det i rapporten underforstået, at der er tale om en analyse af et energimæssigt problem.

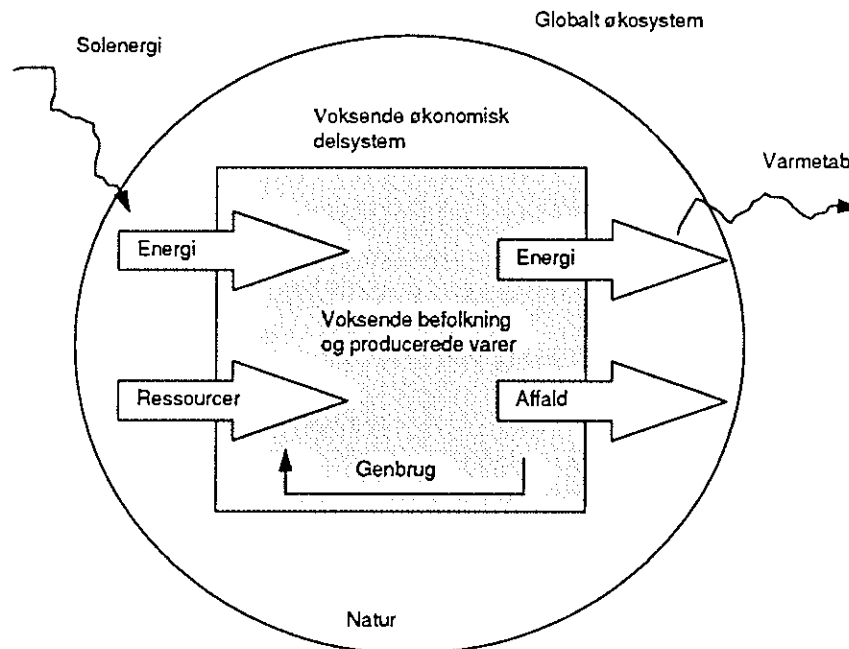
Nærværende del indeholder følgende: Afsnit 2 illustrerer kompleksiteten af energispørgsmål og viser, hvorledes disse kan karakteriseres som et multikriterieproblem. Scenarieanalysebegrebet omtales i afsnit 3, og der tages udgangspunkt i, hvorledes begrebet er anvendt i den danske Energi 2000 plan. Specielt diskuteres og sammenlignes forskellige evalueringsmetoder. I afsnit 4 foreslås en metodisk og formaliseret angrebsvinkel for scenarieanalyse. Der tages udgangspunkt i anvendelse af multikriteriemetoder og beslutningsstøttesystemer (modeller baseret på multikriteriemetoder) som basis for et forslag til en struktureret scenarieanalyse. De afsluttende bemærkninger anføres i afsnit 5.

2 Energi og bæredygtighed

Hvad der præcist ligger i begrebet 'bæredygtig udvikling' vides ikke. Eller rettere sagt, der findes mange forskellige bud og definitioner på 'bæredygtig udvikling' men ingen alment accepteret og anvendt. Det nærmeste man måske kan komme er at bruge 'bæredygtighed' som et mål for at opretholde et eller andet uændret over tiden. Dette et eller andet er normalt et aspekt af menneskelig adfærd (Lélé, 1994). Bæredygtig udvikling handler således om, hvorledes man opretholder dette et eller andet i tiden, mens man samtidig ønsker, at der kan være en generel samfundsmæssig udvikling på andre områder. Det skal nævnes, at Brundtland rapporten (UN, 1987), hvor begrebet blev anvendt for første gang i internationale sammenhænge og som et generelt samfundspolitisk mål, ikke konkretiserer, hvad der skal opretholdes, og hvorledes denne opretholdelse kan sikres. Begrebet er altså ikke defineret i operationelle og praktiske vendinger. Derfor foregår der blandt 'brugere' af begrebet mange diskussioner omkring den mere operationelle og præcise del af definitionen.

Det skal nævnes, at en del diskussioner går ud på at definere, hvad der menes med økonomisk bæredygtig udvikling, miljømæssig bæredygtig udvikling, bæredygtigt landbrug osv., osv. (se for eksempel Brown *et al.*, 1987). I forbindelse med energiområdet har begrebet ingen særlig betydning andet end, at man forsøger at styre nuværende energisystemer væk fra anvendelsen af udtømmelige brændsler (olie, kul og lignende) til et system baseret på vedvarende energi (se Brown *et al.*, 1987). Begrebet omtales i det følgende som et generelt begreb, hvori ønsket om anvendelse af vedvarende brændsler indgår, men hvortil der ligeledes skal lægges en del ikke videre specificerede krav fra resten af samfundet: økonomi, miljø, landbrug, osv., osv.

Ser man på energisystemets indpasning i samfundet er det tydeligt, at der er tætte relationer. Stort set alle aktiviteter udføres i forbindelse med udvindelse eller forbrug af energi. Og temmelig mange resultater af samfundets aktiviteter giver en eller anden form for uønsket miljø- eller anden samfundsmæssig effekt som bivirkning. Hermed kommer energiområdet i centrum næsten uanset hvilken form for udvikling eller regulering, man ønsker at foretage; øget økonomisk aktivitet kræver som regel en stigning i produktion og brug af energi, og øget hensyn til miljø kræver som regel en mindskning eller i det mindste en delvis omlægning af energisystemet eller dele heraf. Figur 2.1 viser oversigtsmæssigt energiens indpasning i det globale økosystem.



Figur 2.1 Oversigt over sammenhænge i det globale økosystem (fra Goodland et al., 1993).

Økosystemet, som illustreret her, består af natur, der i omfang ikke kan vokse og, et økonomisk delsystem med en befolkning og producerede varer, der indtil videre i al fald har ekspansionsmuligheder. Det økonomiske delsystem er afhængigt af energi og tilførte ressourcer. Ved vækst, udvikling og aktiviteter af forskellig art produceres og anvendes energi, hvoraf noget forsvinder (hovedsageligt i form af varmetab). Ligeledes skabes der affald. En del heraf genbruges men resten ophobes i naturen. Som det økonomiske delsystem vokser (firkanten bliver større) bliver naturens område mindre (det kan ikke øges). Den bæredygtige udvikling² går ud på at finde en god balance mellem vækst, forbrug af ressourcer og energi, produceret (akkumulerbart) affald, samt naturen. En balance hvori der vil være mange modstridende interesser og hensyn at tage.

Når denne balance skal findes stilles der højere krav til identifikation og beskrivelse af årsagssammenhænge. Der vil være krav fra forskellige områder i samfundet, som skal opfyldes til en vis grad for at tilgodese de varierende ønsker og opfattelser af, hvad udviklingen skal indeholde. Der skal som regel altid tages hensyn til energiforsyningen, økonomien, og miljøkonsekvenserne som et minimum. Samtidig er det et faktum, at der vil være flere og større usikkerheder involveret, idet man ikke kan have viden om alle årsagssammenhænge og effekter - specielt ikke, når man retter sig mod at undersøge strategier, der vil være gode for fremtidens systemer.

Man kan karakterisere det at danne en bæredygtig energistrategi for fremtidens samfund for et multikriterieproblem. Problemet er hvilken form for strategi, man skal vælge under hensyn til generelle energimålsætninger (som for eksempel at danne en

² Det skal tilføjes, at diskussionerne om bæredygtighed ligeledes centrerer om bl.a. bevaring af ressourcer og muligheder til fremtidige generationer, om at give lige rettigheder og muligheder til rige og fattige og om at måle aspekter af livskvalitet. På trods af disse spørgsmåls relevans ligger det uden for dette projekts område.

strategi, hvori man ønsker at sænke energirelaterede CO₂ emissioner med en vis procentdel inden et vist årstal) og kravet om bæredygtig udvikling. Den bæredygtige udvikling stiller krav til, at der skal være visse økonomiske krav opfyldt, visse miljømæssige krav opfyldte osv. Hvor mange krav, der skal være opfyldte er afhængig af, hvor meget man ønsker en overordnet samfundsmæssig involvering i strategien. Mange af kravene vil være modstridende. Ligeledes vil det være muligt (og til en vis grad nødvendigt) at prioritere opfyldelsen af nogle krav, således at man kan give mulighed for kompromisløsninger. Energiproblemet vil være omgivet af store usikkerheder. Der er ingen, der kan forudse, hvad samfundets udvikling bliver mange år frem. 'Multikriterieproblemet' vil således være omgivet af meget usikkerhed, der skal tages i betragtning ved løsningen.

3 Energiscenarieanalyser

Der eksisterer ingen konsensus omkring det at udføre scenarieanalyser. Tradition, erfaring, anvendelse af forhåndenværende muligheder og redskaber er alle faktorer, der spiller en vigtig rolle. Evalueringen af konstruerede scenarier er en vigtig del af scenarieanalysen. Resultatet af evalueringen er ofte det, der fremstår som det overordnede resultat af analysen og præsenteres for beslutningstagere. Her skal scenarieanalyse og evalueringbegreberne omtales, som de ses anvendt inden for energiområdet.

3.1 Scenarieanalyse

Den konstruktion og evaluering af dannede scenarier, der foregår kan under et refereres til som scenarieanalyse. *Scenarieanalyse* bevirker, at man undersøger et givet problem ved at beskrive mulige fremtidige variationer og forskelligheder gennem scenarier. Variationerne er knyttet til den udvikling, man mener, systemet/ problemet kan undergå, eventuelt under forskellige påvirkninger. Scenarierne skal hermed repræsentere systemet/problemet og samtidig vise effekten af forskellige påvirkninger/ tiltag og forudsætninger man påfører disse.

Ved formulering af energiplaner spiller scenarier en stor rolle. Scenarier har generelt til formål at beskrive en fremtidstilstand for et givet system. Det kan beskrive et øjebliksbillede (Saaty, 1980), eller en sekvens af handlinger, der er fokuseret omkring beslutningspunkter, og de muligheder man har ved hvert punkt (Kahn and Weiner, 1967). Her anvendes begrebet om *en beskrivelse af et system (for eksempel et integreret energisystem) eller problem. Beskrivelsen knyttes til et bestemt tidspunkt i fremtiden og indeholder forskellige forudsætninger og begrænsninger man har antaget, for at systemet eller problemet bliver som beskrevet.* Det vil sige, at der ikke nødvendigvis er antaget noget om rækkefølgen af hændelser, der påvirker systemet i perioden fra nutiden og til det bestemte tidspunkt i fremtiden. Tiden fra nutiden og til det fremtidspunkt knyttet til scenariet, skal refereres til som *scenarieperioden*. Ovenstående måde at anvende scenariebegrebet på er tæt knyttet til den måde, hvorpå begrebet ses anvendt indenfor energiområdet.

Energiscenarier kan udtrykke lidt af hvert. De kan være knyttet til beskrivelse af et systems variationer, dets effekt på andre systemer eller en kombination af begge. Der er som regel knyttet både en verbal og en kvantitativ talmæssig beskrivelse til scenariet. Den verbale del fortæller om de overordnede forventninger, man har til fremtiden og til systemets udvikling. Den talmæssige beskrivelse knytter sig til måling af effekter i form af indikatorværdier, der måler konsekvensen af det pågældende scenarie. Men først og fremmest anvendes scenarier som et redskab til at prediktere, hvorledes systemet eller problemet måske vil se ud i fremtiden, og til eventuelt at estimere visse indikatorværdier knyttet til dette fremtidspunkt.

Der kan være forskellige formål med anvendelse af scenarier. Typiske formål indenfor energimæssige problemstillinger er en eller flere af følgende:

- Scenarier anvendes til belysning af forskellige aspekter af politiske og tekniske tiltag, som kan ændre energisystemets (eller et integreret systems) nøgleparametre indenfor scenarieperioden. De politiske/ tekniske tiltag kan være rettet direkte mod systemet i fokus og/eller mod andre systemer, hvorved påvirkninger og relationer på og fra disse kommer i fokus. På denne måde bliver scenariet et prediktions- og estimeringsredskab anvendt i analysemæssig henseende.
- Scenarier anvendes som basis for vurdering og identifikation af den 'bedste' eller den 'mest ønskede strategi'. Der kan stilles krav til enkelte parametre for systemet i fremtiden og kraves grad af opfyldelse. Scenarierne anvendes her mere som en form for løsningsredskab for problemløsning.
- Scenarier anvendes til at give en konsistent og fælles basis for diskussion og vurdering af tiltag og alternativer på et bredere niveau, f.eks. på tværs af landegrænser. Konsistens refererer her til, at alle scenarier skal være konstrueret på samme måde, have nogenlunde samme basis, tidsramme og omfang. Scenarierne anvendes her som diskussions grundlag eller støtte i forbindelse med en beslutningsproces.

I forbindelse med formulering af energiplaner kan man ofte se, at scenarier skal anvendes til opfyldelse af alle tre formål.

Som det ligger implicit i begrebet, er der tale om, at der konstrueres flere forskellige scenarier, der tilsammen udgør et billede af de variationer, man er interesseret i at undersøge. Scenarieanalyse bygger altså på en sammenligning og vurdering af flere forskellige scenarier. Dette *scenariesæt* er som regel konstrueret på basis af nogenlunde samme forudsætninger, så det der udgør forskellen mellem scenarierne er små eller større variationer i nogle enkeltstående forudsætninger. Et scenariosæt kan i teorien bestå af så mange scenarier, som man orker at konstruere, og som man samtidig mener afdækker de tilstandsmuligheder, der er for systemet/problemet. I praksis opereres der ofte med to typer af scenariosæt. Et til analyse- og løsningsmæssig brug, hvor antallet kan være stort (flere end tre), og et der anvendes som diskussions- og beslutningsstøtte grundlag, hvor antallet ofte blot er et eller to (se for eksempel Energiministeriet, 1990, der viser de formelle politisk vedtagne scenarier, og Morthorst, 1993, som beskriver nogle af de forskellige scenarier, der bl.a. har ligget til

grund for planen). Der skal normalt foretages en eller anden evaluering og udvælgelse af analyse scenariosættet, før man kan opnå at finde diskussions scenarierne.

Kernen i scenariosættet må siges at være 'basisscenariet' (eller referencescenariet, 'business as usual' som det også kan kaldes). Normalt konstrueres dette ud fra forudsætninger om, at der ikke foretages nogen egentlig regulering af problemet, men at man får et billede af dette, som det kunne se ud i scenarieperiodens afslutning. Alternative scenarier konstrueres dels ud fra basisscenariet og dels ud fra forskellige forventninger og ønsker til ændringer af den ene eller anden form.

3.2 Evaluering

Som allerede nævnt betragtes evalueringen af scenarier som en del af scenarieanalysen. Alligevel skal der her lægges speciel vægt på dette område. Evalueringen kan foregå på alle tidspunkter af scenarieanalysen, således at der bliver tale om en iterativ proces, der skal konvergere mod en egnet løsning. Her er det forudsat, at evalueringen skal anvendes til decideret afvejning af forskellige strategier, defineret gennem scenarier, således at man kan identificere den bedst egnede, der kan præsenteres for beslutningstagere. Med indførelsen af bæredygtighedsbegrebet i energianalyser er det af yderligere relevans at diskutere evalueringen nærmere.

Der kan opdeles i to typer af evaluering; den monetære evaluering og den ikke-monetære evaluering. Som eksempel på monetær evaluering kan nævnes cost-benefit analyse (se f.eks. Dasgupta and Pearce, 1979). Cost-benefit analyse er karakteriseret ved, at man forsøger at måle alle effekter i monetære enheder. Såfremt enhederne ikke allerede er i den ønskede enhed, forsøges de oversat, således at man kan regne sig frem til den mest omkostningseffektive strategi ved at sammenligne fordele og ulemper ved de forskellige strategier. Metoden har den ulempe, at man forudsætter, at effekterne, samlet i scenarier, kan vurderes i kvantitative monetære enheder. Mange sociale og miljømæssige hensyn er svære at opgøre i denne enhed. Miljømæssige goder, for eksempel, handles ikke på de økonomiske markeder og har ingen naturlige priser. Opgørelse af disse *eksternaliteter* kan foregå (se for eksempel Meyer *et al.*, 1994), men der er endnu ingen fælles konsensus omkring værdien af de forskellige eksternaliteter. Vanskeligheder ved denne evaluering kan måske bevirke at visse effekter 'smides væk' og dermed ikke indgår i evalueringen. Et andet problem med cost-benefit analyse er, at evalueringsprincippet er designet til at vælge en løsning blandt et sæt af forud specificerede alternativer. Der ligger umiddelbart ingen muligheder for at søge kompromisløsninger.

Som et eksempel på en ikke-monetær evaluering kan nævnes 'fragmenteret analyse'. Fragmenteret analyse ses ofte anvendt i energistudier. Der ligger ikke nogen egentlig metode bag, - den er mere *ad hoc* præget. Det drejer sig her om simpelt at indbyrdes sammenligne de enkelte effektværdier (i de enheder de nu engang har) i de forskellige scenarier gennem en samspilsvurdering. Matematiske modeller kan med fordel anvendes her. Sammenligningen og den egentlige vurdering af de forskellige scenarier, foregår da ud fra nogle subjektive overvejelser over trade-off, ulemper og fordele. Den umiddelbare fordel ved denne fremgangsmåde er, at den kan udføres uden videre uden store forudsætninger eller metodeindsigt. På den anden side lægges der en

menneskelig³ begrænsning i vurderingen. Den menneskelige hjerne kan ikke umiddelbart håndtere et problem af denne type med mange scenarier, enkelt effekter, mål, krav, osv. Der vil uden tvivl foregå en form for ubevidst eller bevidst prioritering, så nogle 'smides væk' og der lægges mere vægt på andre. Denne form for prioritering bør i virkeligheden være beslutningstagerens mere end analytikerens, og man risikerer at fremstille scenarier, der ikke er konsistent med beslutningstagerens mening.

4 Principper for scenarieanalyse

De foregående afsnit har illustreret nogle af kompleksiteterne, der ligger i løsning af energiproblemer og energiscenarieanalyse. Idet man ud fra mere teoretisk analytiske overvejelser kan karakterisere visse energiproblemer som multikriterieproblemer, er det naturligt at undersøge, om man kan anvende de allerede eksisterende multikriteriemetoder til løsning.

Multikriteriemetoder sigter mod løsning af problemer med mange, ofte modstridende målsætninger og kriterier, der skal opfyldes på en eller anden måde. Målsætninger og kriterier kan være udtrykt i forskellige enheder formuleret i alternativer, hvor der kan foretages prioriteringer og afvejninger for at finde et kompromis alternativ. Multikriteriemetoder kan således synes som et alternativ til de almindeligt anvendte evalueringsmetoder til brug i energiscenarieanalyser. Principperne bag multikriteriemetoder og deres analytiske virkemåde præsenteres i del 2.

Anvendelsen af multikriteriemetoder er dog ikke uden ulemper. Generelt er metoderne matematisk komplicerede, og de kan være svære at få overblik over. Det er derfor forfatterens opfattelse, at de bedst anvendes som en del af en matematisk model eller beslutningsstøttesystem (se del 3) til brug i scenarieanalysen.

Det skal nævnes, at multikriteriemetoder allerede anvendes på institutionelt nationalt plan i Holland (se om DEFINITE-modellen i del 3). Ligeledes er det af flere andre forfattere foreslået at anvende metoderne til evaluering af bæredygtige strategier (se f.eks. Cocklin, 1989, og Munda *et al.*, 1994).

Brug af multikriteriemetoder stiller krav til struktureringen af det problem, der skal løses (se for eksempel Lee and Eom (1989) for diskussion af strukturerede og ustrukturerede problemer). Struktureringen er vigtig dels for at kunne specificere det rette input til metoderne, og dels for at mindske usikkerheden i scenarieanalysen og ved selve anvendelsen af multikriteriemetoderne (del 3 omhandler disse emner i yderligere detalje). En strukturering af problemet vil i denne forbindelse betyde en strukturering af scenarieanalysen, der foregår inden evalueringen.

³ Der vil altid være menneskelige vurderinger/begrænsninger knyttet til analyser. Her tænkes specielt på den begrænsning, der ligger i at overskue et stort, kompliceret problem med mange mål, kriterier og parametre.

4.1 Struktureringsaspekter

Man kan overordnet inddele scenarieanalyse i følgende trin:

- Problembeskrivelse
- Scenariikonstruktion
- Evaluering af en mængde analytiske scenarier
- Udvælgelse af scenarier til diskussion

Problembeskrivelse har overordnet til formål at definere, afgrænse og beskrive det pågældende problem, således at det er muligt at afdække, hvilke muligheder der kan være for at påvirke det i ønsket retning i fremtiden. Samtidig skal det også være muligt at afdække, hvilke faktorer, der ikke nødvendigvis er knyttet direkte til systemet, og vurdere deres effekt.

Scenariikonstruktionen går simpelt ud på at sammenholde de før definerede faktorer og muligheder under et og at udføre forskellige beregninger, således, at man kan få et mål for effekten af dem. Forskellige scenarier skal repræsentere varierende muligheder og indflydelser og dermed illustrere den usikkerhed, der ligger i forbindelse med denne type af prediktion. Scenariikonstruktionen har således tæt tilknytning til at prediktere eller estimere et systems nøgleparametre, der samtidig kan defineres som politiske beslutningsvariable (indikatorværdier hvortil der kan knyttes krav om målsætninger).

Evaluering og udvælgelse af scenarier indeholder en vurdering og sammenligning af de alternative scenarier med hensyn til deres opfyldelse af krav og målsætninger knyttet til de enkelte beslutningsvariable og den overordnede analyse.

Udvælgelse af scenarierne til diskussion foregår ud fra opvejninger af fordele og ulemper ved de forskellige scenarier, således at man udvælger det/dem der kommer nærmest på opfyldelse af målsætningen.

Såfremt man skal se på de enkelte punkter, der er betydende for det input, der bliver givet til evalueringen, er man nødt til at se enkeltvis på dels problembeskrivelsen og scenariikonstruktionen. Det skal nævnes, at der i praksis ikke nødvendigvis er tale om adskilte dele af scenarieanalysen. Opdelingen er foretaget her af oversigtsmæssige og analytiske grunde.

Det skal nævnes, at enkelte studier har forsøgt at angive retningslinier for en lande-konsistent scenarieanalyse (se for eksempel UNEP, 1992). Hensigten er her mere at diskutere punkter, der kan være betydende for scenarieanalysen, samt at angive forslag til metoder, der kan gøre indsigten i enkelte dele større.

4.1.1 Problembeskrivelse

Det antages at være givet, hvilket problem, der skal løses og hvilket overordnet politisk formål, der vil være. Ligeledes antages længden af scenarieperioden kendt.

Problembeskrivelsen har således til formål afgrænse problemet på en sådan måde, at det kan overskues og der kan udføres nogle beregninger herpå, samt at beskrive problemet ud fra denne afgrænsning. Problembeskrivelsen skal give en operationel basis for at konstruere selve scenarieme, hvilket vil sige, at der bl.a. skal findes beslutningsvariable, der kan bestemmes, måles og stilles krav til. Afgrænsningen kan kun foregå ud fra den viden, man har til problemet på nuværende tidspunkt. Der skal derefter anvendes en eller anden form for prediktionsmetode til at forudse, hvorledes problemets karakteristika ser ud til scenarieperiodens afslutning.

Ud fra en analytisk vinkel kan der identificeres mange punkter, der kan være kritiske og mere eller mindre bestemmende for, hvorledes problemet senere løses. Selve det syn, der lægges på problemet (skal energisystemets kommende strategier lægges efter at opnå mål for miljøet? energisystemet selv? økonomien?) er bestemmende for angrebsvinklen. Den metode man anvender til beskrivelsen (modeller? økonomiske parametre? energiparametre?) er lige så bestemmende, og lige så er den prediktionsmetode, man vil anvende for at beskrive valgte nøgleparametre i fremtiden. Det er ikke muligt, at lægge fuldstændige retningslinier ud for, hvorledes man gør på en måde, der giver bedst strukturering. To områder skal dog fremhæves her: Udvælgelse af variable til beskrivelse af problemet (interne og eksterne faktorer), samt udvælgelse af de for problemet mest betydende variable.

4.1.2 Interne og eksterne faktorer

De faktorer, der skal udvælges til at beskrive problemet i nutid og fremtid, kan inddeles i interne og eksterne faktorer. Ved *interne faktorer* forstås de relationer og variable/parametre, der direkte påvirker problemet og som dermed kan være med til at regulere det direkte. *Eksterne faktorer* anvendes om de relationer og variable/parametre, der ikke har direkte indflydelse på problemet, men har det indirekte enten ved, at de ligger udenfor problemafgrænsningen uden alligevel at være med, eller ved at de har indflydelse på nogle af de sammenhænge, der er i problembeskrivelsen. De interne faktorer er mere overskuelige og måske også kontrollerbare, mens de eksterne ofte er lige det modsatte. Til gengæld kan de eksterne faktorer have mindst lige så stor indflydelse på problemet som de interne faktorer. Det skal bemærkes, at 'faktorer' her kan dække over variable og/eller hændelser, der kan påvirke udviklingen af problemet. Et eksempel på en variabel kan være elproduktion, mens en hændelse kan være 'oliekrise' eller jordskælv.

Udvælgelsen af interne og eksterne faktorer skal ses i den sammenhæng de skal bruges; nemlig til konstruktion af scenarier, der skal repræsentere energipolitiske strategier. Såfremt man udelukkende udvælger interne faktorer til scenariekonstruktionen, vil de beregninger, man foretager, have karakter af konsekvensvurderinger mere end analyser af fremtidsaspekter. Hvis man anser det for et af formålene med scenarieanalyse, at få et overblik over problemet som det kan se ud i fremtiden, så betyder det ligeledes, at man skal medtage overraskelsesaspekter, der kan påvirke situationen på den ene eller anden måde. Og i dette tilfælde er konsekvensvurderinger ikke tilstrækkelige.

Det gælder altså om at finde nogle faktorer, hvorom der vides en masse og som man kan regulere på (interne faktorer) samtidig med, at man også er nødt til at skele til de faktorer, der ikke nødvendigvis kan reguleres, og som måske har en lavere

sandsynlighed for at indtræffe (eksterne faktorer). Tales der om nationale energistrategier, kan det måske være vanskeligt at vurdere, hvilke faktorer, der er interne, og hvilke der er eksterne. Helheden vil være stor og relationerne mange. I dette tilfælde er det tilstrækkeligt at bare ved en eller form for 'brainstorming' at undersøge, hvilke faktorer, der overhovedet kan tænkes at have en indflydelse - uanset deres sandsynlighed for at indtræffe. Det kan så undersøges på anden vis, hvilke der er betydende og derfor skal medtages på en eller anden måde i de konstruerede scenarier.

4.1.3 Betydende faktorer

Selve udvælgelsen af faktorer, der skal være med i beskrivelsen af de forskellige alternative scenarier kan foregå mere eller mindre systematisk. Som allerede nævnt er det nødvendigt at vurdere, hvilke faktorer, interne som eksterne, der har den største påvirkning på problemet. Det er ikke altid lige nemt at udvælge disse faktorer. Dels er der nemlig tale om, at man skal forsøge at forudsige faktorerens udvikling og indflydelse langt ud i fremtiden, og dels skal man forsøge at vurdere, om disse vil have den samme effekt til den tid, som de har nu. Det vil i nogen tilfælde være muligt at foretage en eller anden form for kvantificering af effekten af de forskellige faktorer eller hændelser (ved prediktion, estimation og fremskrivninger for eksempel), mens andre faktorer eller hændelser måske slet ikke kan kvantificeres.

I denne vurdering kan det give indsigt at anvende en metode, der kan øge overblikket og eventuelt skabe en eller form for konsensus om, at det netop er disse faktorer, der skal satses på ved scenariekonstruktionen. Delphi metoden (se for eksempel Morgan and Henrion, 1990) og Cross Impact Analysis (se for eksempel Selwyn, 1971) er begge metoder til udvælgelse af vigtige, betydende faktorer og relationer.

I Delphi metoden anvendes en gruppe af eksperter, som skal sige deres mening om et bestemt problem. Eksperterne skal være ukendte for hinanden og gerne være geografisk adskilte. I dette tilfælde med energiplanlægning under bæredygtighed kan de blive bedt om at vurdere, hvilke faktorer, interne som eksterne, der vil have en signifikant betydning for CO₂ emissionen i fremtiden. Udfra deres svar vil man opskrive, hvor stor en procentdel af eksperterne, der svarede et og andet, beregne nogle kummulative frekvenser og senere præsentere disse for eksperterne igen, hvorefter de får mulighed for at revidere deres svar. Sådan fortsættes til man har nået en eller anden form for konsensus, hvor ingen ønsker at ændre på sine svar. Delphi metoden har den ulempe, at det vil tage tid at udføre den i praksis. Det antages at kommunikationen foregår pr brev eller lignende, og at der skal gå noget tid mellem hver besvarelse, så man ikke får uovervejede svar, derfor kan man forvente en vis ventetid, før man har opnået et resultat, man kan anvende.

En anden måde at udvælge de mest betydende faktorer på er Cross Impact Analyse. Navnet dækker over en gruppe af metoder, der mere kvantitativt kan give et mål for, hvor betydende de enkelte faktorer er overfor de øvrige udvalgte. Der foregår en parvis sammenligning af rækken af faktorer, som man ønsker at vurdere. Hver faktor sammenlignes med alle andre faktorer. I praksis opskrives de i en tabel, der er $n \times n$, n svarende til antallet af faktorer, der skal vurderes. Såfremt man synes at den første faktor har en direkte indflydelse på den anden, der sammenlignes med, indikeres dette på en eller anden måde (man kan foreksempel skrive et 1 tal til at indikere, at den har

en indflydelse), hvis ikke skrives intet. Efter at alle indikatorer er sammenlignet indbyrdes, opsummeres værdierne af de enkelte faktorer både på kryds og tværs. Søjlesummer angiver de forskellige faktoreres afhængighed af de andre faktorer, mens rækkesummer angiver de forskellige faktoreres indflydelse på andre faktorer. Resultaterne kan optegnes i et koordinatsystem, hvorved det er nemt at aflæse hvilke faktorer, der er mest betydende og mindre betydende. Det skal nævnes, at netop denne version af cross impact analysis er foreslået anvendt til klassificering af variable knyttet til 'impacts assessments' i de tekniske beskrivelser for IPCC til vurdering af klimaændringer, effekter og tilpasninger (IPCC, 1994).

Naturligvis er der ligeledes visse ulemper ved denne form for udvælgelse. Metoden, som den er beskrevet her, tager ikke højde for indirekte relationer mellem de forskellige variable, som kan være lige så betydende som de direkte relationer. Ligeledes kan metoden virke for formalistisk og stiv i bedømmelserne. Den vurderes dog af forfatteren at kunne give en indsigt i disse forskellige faktoreres indbyrdes betydning, der kan være svær at få på anden vis. Om ikke andet kan analysen anvendes som et udgangspunkt for yderligere diskussioner og overvejelser.

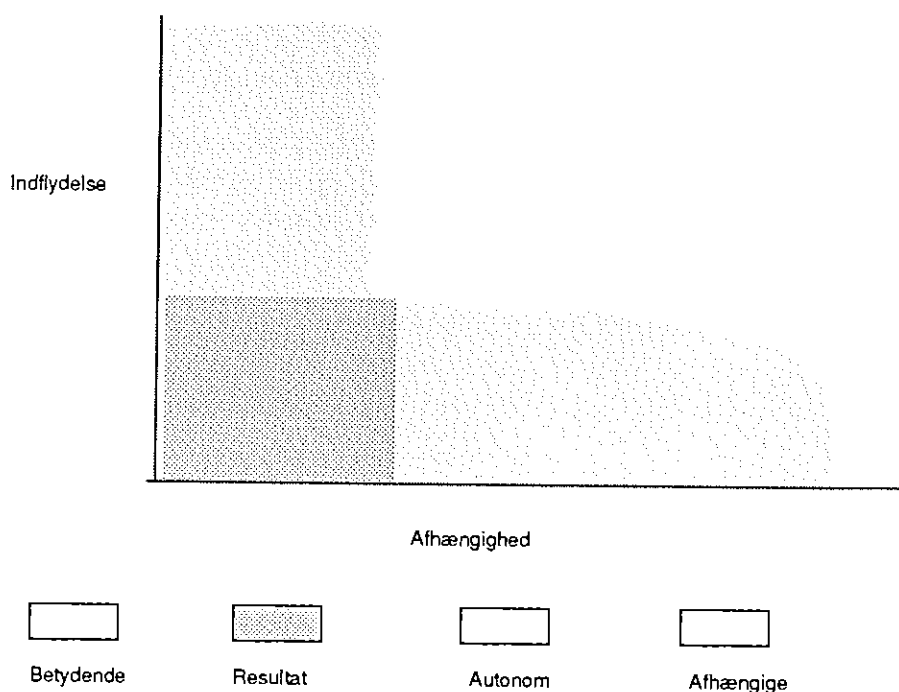
| | Befolkn. str. | Arb.løshed | Inflation | BNP/pers | Fossilbr. % | Energipriser | Energiaftal. | Nye miljømål | | | | | | | | | | TOTAL | |
|---------------|---------------|------------|-----------|----------|-------------|--------------|--------------|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------|---|
| Befolkn. str. | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 9 |
| Arb.løshed | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inflation | 1 | | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BNP/pers | 1 | | | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fossilbr. % | 1 | | | | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| Energipriser | 0 | | | | | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| Energiaftal. | 0 | | | | | | 0 | | | | | | | | | | | | |
| Nye miljømål | 1 | | | | | | | 0 | | | | | | | | | | | |
| | 1 | | | | | | | 0 | | | | | | | | | | | |
| | 1 | | | | | | | | 0 | | | | | | | | | | |
| | 1 | | | | | | | | | 0 | | | | | | | | | |
| | 0 | | | | | | | | | | 0 | | | | | | | | |
| | 0 | | | | | | | | | | | 0 | | | | | | | |
| | 0 | | | | | | | | | | | | 0 | | | | | | |
| | 0 | | | | | | | | | | | | | 0 | | | | | |
| | 0 | | | | | | | | | | | | | | 0 | | | | |
| | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | |
| TOTAL | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabel 4.1 Cross Impact Tabel relateret til reduktion af CO₂ emission i Danmark.

Anvendelsen af cross impact metoden skal illustreres herunder. Tabel 4.1 viser enkelte faktorer, identificeret som potentielt værende betydende for CO₂ emissionen i Danmark.

De enkelte faktorer og deres indbyrdes relation er vurderet af forfatteren og skal kun ses som en illustration af principperne.

For at lette overblikket over faktorenes indflydelse på hinanden er søjle og række summer anvendt til at placere de enkelte sammenhæng grafisk. Dette er illustreret i figur 4.1



Figur 4.1 Figuren viser de betydende, resultat, autonome og afhængige faktorer.

Som det ses er koordinatsystemet inddelt i fire områder; et hvor den pågældende faktor har udvist lille afhængighed og lille betydning (resultatfaktor), et hvor faktoren er vurderet til stor afhængighed og lille betydning (autonom faktor), et hvor faktoren har udvist stor afhængighed og stor betydning (afhængige faktorer) og endelig et hvor faktoren har udvist lille afhængighed og stor betydning (betydende variable). Figuren kan hermed vise, hvilke faktorer man skal medtage i sine scenarier, såfremt man ønsker at de skal repræsenteres ved overvejende betydende faktorer.

Det skal nævnes, at cross impact analyse kan anvendes i mange forskellige udformninger. I nogle tilfælde skelnes der mellem den styrke af effekt en faktor har over en anden (der kan for eksempel angives et 3, hvis påvirkningen er stor og 0 hvis ingen påvirkning). Det kan anvendes til at give et estimat for sandsynligheden for, at en bestemt faktor har betydning i fremtiden - under antagelse af, at alle mulige faktorer er medtaget i tabellen. Der kan også tages højde for indirekte relationer mellem faktorer (se for eksempel Duperrin og Godet, 1975). Det er dog forfatterens mening, at det er tilstrækkeligt at anvende den form for cross impact analyse, der er skitseret her. Det skulle være tilstrækkeligt til at få et indblik i, hvilke faktorer man bør udvælge. Der er ingen speciel nytte i at beregne et usikkert estimat for sandsynligheden for, at de indtræffer. Det kunne være relevant at undersøge indirekte relationer, men til det

formål vurderes det at være bedre at anvende værktøjer, der er beregnet hertil (som for eksempel matematiske modeller).

4.2 Konstruktion

Selve konstruktionen af scenarier handler om at sammensætte forskellige faktorer, der er beskrivende for problemet, således at man måle effekten af disse på en eller anden måde. Konstruktionen drejer sig således om at kombinere forskellige faktorer i passende grad til de forskellige scenarier, om at forudsige, estimere, eller prediktere indikatorværdier for faktorerne (til måling af effekten af de forskellige forudsætninger bag scenarierne), og om at udtrykke scenarierne på en beskrivende og oplysende måde, der kan give indsigt i de politiske initiativers virkemåder og samtidig give indsigt i udefra kommende faktorerers indflydelse. Af specielle punkter, der skal kommenteres på her er valg af fremgangsmåde for konstruktionen samt udformning af basisscenarie og alternativer.

4.2.1 Fremgangsmåde

Scenariekonstruktion går ud på at kombinere de identificerede betydende faktorer på en måde, så man får et billede af de mulige tilstande, problemet kan ende op med til scenarieperiodens slutning. Det gælder om at undersøge forskellige muligheder under forskellige krav og begrænsninger lagt af politiske, tekniske, og samfundsmæssige hensyn og ønsker. I praksis anvendes matematiske modeller til denne del, således at man kan beskrive problemet og prediktere påvirkninger på det.

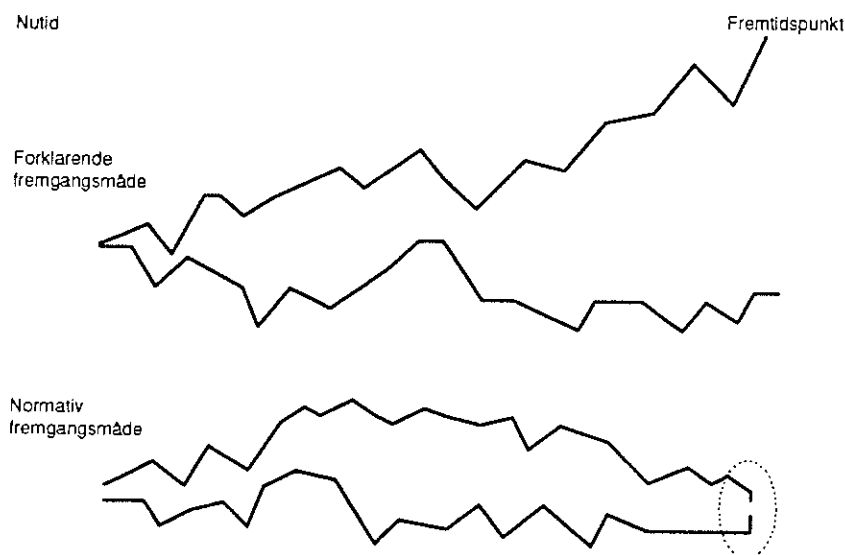
Selve scenariekonstruktionen kan foregå udfra enten den forklarende eller normative fremgangsmåde (se for eksempel Becker, 1983). Ved den forklarende fremgangsmåde undersøges forskellige muligheder for påvirkning af problemet, effekten af de forskellige tiltag vurderes til scenarieperiodens sluttidspunkt. De muligheder, der afprøves, er afgrænset af underkrav og ønsker til hvad fremtiden byder. Den normative fremgangsmåde tager udgangspunkt i scenariets tilstand til scenarieperiodens sluttidspunkt. Det vil sige, at man på forhånd har stillet krav og ønsker til problemets tilstand til dette tidspunkt, og udfra denne givne tilstand undersøger, hvilke muligheder det giver for påvirkning af scenarierne, såfremt de skal 'ende' i nutidens problemtilstand. Forskellen på de to fremgangsmåder er illustreret i figur 4.2.

Figuren illustrerer det tidslige forløb af forskellige scenarier ved den forklarende og den normative scenariekonstruktion. Linieme repræsenterer scenarierne, som de udvikler sig i tiden. Hvert knæk på lineiekurverne repræsenterer et fremtidspunkt, hvor en eller anden faktor har en effekt på trenden af linien.

Som det kan ses, er der i princippet tale om to forskellige fremgangsmåder, der giver hver sine muligheder og begrænsninger. Den 'forklarende' fremgangsmåde tager udgangspunkt i nutiden og undersøger, hvilke muligheder, der er for udvikling og påvirkning i den fremtid, der er defineret ved scenarieperioden. Man kan sige, at verden er åben, og at alle mulige alternativer kan tages i betragtning. Ved den normative fremgangsmåde har man givet en ønsket fremtidstilstand for systemet. Den kan sættes udfra nogle krav til visse faktorerers effekt i fremtiden. Indenfor denne

fremtidstilstand og til nutiden skal man således identificere visse strategier, der kan opfylde begge sluttidspunkter i scenariet. Denne måde er således mere begrænsende, idet der er flere begrænsninger langt fra starten. Valget af fremgangsmåde må hænge tæt sammen med formålet med scenariekonstruktionen; skal der vurderes hvilke strategier, der kan give en bedste effekt på en række områder, vil man følge den forklarende fremgangsmåde; har man fastlagt sig på nogle krav for effekten af strategier, følges naturligt den normative fremgangsmåde.

Den forklarende fremgangsmåde synes at være rettet mod mere undersøgende og



Figur 4.2 Illustration af forklarende og normativ fremgangsmåder for scenariekonstruktion.

visionære undersøgelser af fremtidsaspekter. Den normative fremgangsmåde søger mere at løse en mere bunden opgave og vil uvægerligt være mere rettet mod sandsynlige, let overskuelige og kvantificerbare faktorer, der kan influere på problemet mellem scenarieperiodens slut- og begyndelsestilstande. For at vide, at man med stor sandsynlighed ender op med de bestemte slut- og begyndelsestilstande, er det nødvendigt at anvende data til beskrivelserne, som kan siges at have en høj kvalitet og lille usikkerhed. Det kan for forfatteren synes vanskeligt at sikre sig på disse områder, såfremt man taler om scenarieperioder på lang sigt (10-20 år), og der er tale om et komplekst problem som energiplanlægning under hensyntagen til bæredygtighed.

Der er ingen tvivl om, at man vil konstruere forskellige scenarier selv, om man anvender de to fremgangsmåder overfor samme problem. Der er naturligvis ingen af de to fremgangsmåder, der kan siges at være 'den rigtige'. Fremgangsmåden skal vælges ud fra den type af problem, der skal løses, og ud fra det formål og de krav, der stilles til scenariet, hvis man vil sikre sig, at evalueringen foregår ud fra det rigtige fundament.

4.2.2 Basis- og alternative scenarier

Som allerede nævnt konstrueres scenariosættet mere eller mindre ud fra basisscenarioet. Basisscenarioet er således kernen i sættet. Det er til basisscenarioet, der knyttet de største overvejelser om fremtiden og de mere sandsynlige (og usandsynlige) påvirkninger.

Ligeledes er det til basisscenariet, der knyttes de største overvejelser om data, der skal anvendes til beregninger og prediktion.

De alternative scenarier ses ofte at være baseret på variationer af de enkelte betydende faktorer, der er knyttet til basisscenariet. De større overvejelser om markante ændringer vurderes da ud fra basissceniariets fundament ved, at man foretager større eller mindre ændringer af de faktorer, der allerede er medtagne i basisscenariet. Det vil sige, at ændringer, man ønsker at belyse gennem de alternative scenarier, er begrænset til dem man kan 'oversætte' eller fortolke, så de passer ind i den ramme basisscenariet har formet. Senere anvendes basisscenariet således som basis for sammenligninger mellem alternativer og dermed som et mål for effekten af de forskellige alternativer.

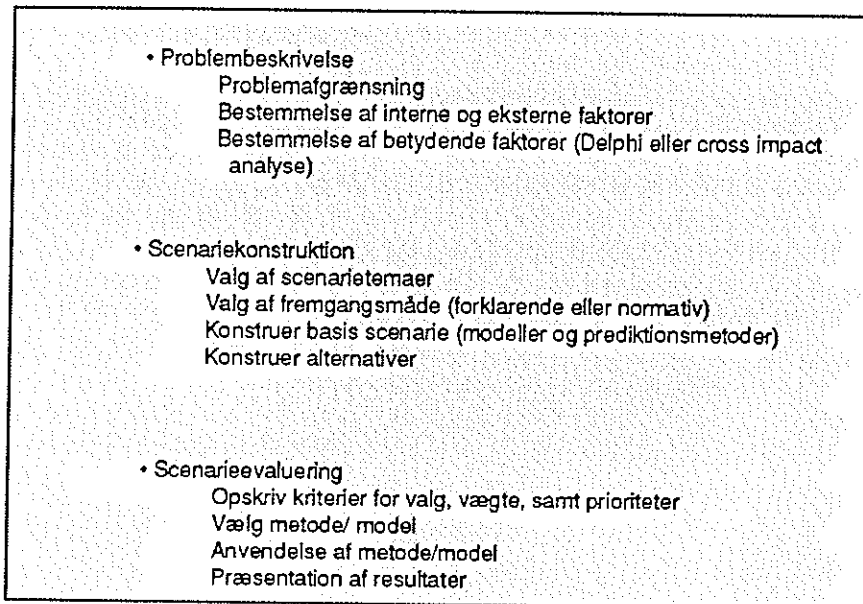
Bag denne fremgangsmåde ligger implicit to vigtige forudsætninger. For det første antages det, at basisscenariet repræsenterer den virkelige og mest sandsynlige udvikling af problemet - både i trend og i datamateriale. For det andet antages det, at alle de muligheder for variationer, de alternative scenarier kan indeholde, kan beskrives med de allerede beskrevne faktorer. Det antages uanset hvilken fremgangsmåde, man har anvendt ved scenariekonstruktionen. Det er spørgsmålet, hvor ofte man kan vide at overordnede forudsætninger er i orden, når man taler om komplekse energiproblemer. Det må derfor påregnes, at det resultat, der kommer ud af scenariekonstruktionen vil indeholde en god del usikkerheder, som ikke nødvendigvis kan kvantificeres. Usikkerhederne er man på en eller anden måde nødt til at tage højde for ved evalueringen af scenarierne.

4.3 Oversigt

Der har i det foregående været diskuteret forskellige emner omkring energiscenarieanalyse. Et af formålene har været at omtale nogle af de punkter, der har betydning for scenarieanalyse og specielt for en evaluering af konstruerede alternative scenarier, baseret på anvendelse af multikriteriemetoder. Såfremt multikriteriemetoder skal anvendes som basis for scenarieevaluering, er det vigtigt, at scenarierne, der skal evalueres, er konstrueret ud fra systematiske principper, der giver en god strukturering af scenarierne og samtidig mindsker usikkerhederne knyttet hertil. Nogle af de punkter, der er betydende for scenarieanalyse er opsummeret i figur 4.3.

Der er i figuren medtaget aspekter af anvendelse af multikriteriemetoder, som vil blive diskuteret nærmere i del 3. Ovenstående punkter skal ses som nogle af de mange punkter, der har en forholdsvis stor betydning for udførelsen og resultatet af energiscenarieanalyser. Alt efter problemets type, erfaring med scenarieanalyse, tilgængelighed af data og andre redskaber, konsensus om problemets omfang, målsætninger, usikkerhed knytte til data og beregninger, og krav der stilles til de forskellige scenarier, kan de for analysen betydende dele variere. Her kan der ikke gives nogen løsning på, hvad der er den bedste måde at udføre scenarieanalyser på. En sådan bedste måde findes efter forfatterens mening ikke. Det har været formålet med ovenstående at anføre forskellige punkter associeret med scenarieanalyse, der kan have betydning for selve scenarieanalysen og resultatet heraf. Ligeledes kan disse punkter ses som punkter, der kan være en indgang til at strukturere scenarieanalyse og

samtidig, hvis ikke mindske, så i al fald gøre opmærksom på de usikkerheder, der ligger i den form for analyse.



Figur 4.3 Betydende dele i scenarieanalyse baseret på anvendelse af multikriteriemetoder til evalueringen.

Der er i ovenstående ikke kommenteret på den måde hvorpå scenarier beskrives og præsenteres for andre. Selve præsentationen foregår oftest i form af kvantitative data, tabeller og grafer, der viser udviklingen af de betydende faktorer, man har valgt at repræsentere problemets dele i. Der er sjældent givet nogen form for usikkerheds-estimat over resultaterne. Normalt er der ved scenarieanalyser inkluderet enkelte usikkerhedsvurderinger. Det kan godt være yderst vanskeligt at anføre et eller flere kvantitative estimater for den usikkerhed, der vil være knyttet til hele processen (data, forudsætninger, beregninger). Den usikkerhed kan man efter forfatterens vurdering bedst håndtere og mindske ved at tænke scenarieprocessen igennem - gøre den så struktureret som muligt og være klar over og åben om de antagelser, man har foretaget. Ovenstående kan ses som en indgangsvinkel til netop dette.

5 Opsummering

Energiscenarieanalyse har været emnet for denne del af rapporten. Energispørgsmål er vanskelige og komplekse at håndtere, og derfor kan det være af stor vigtighed for kvaliteten af scenarieanalyser, at de er velovervejede og strukturerede.

Bæredygtighedsbegrebet stiller store krav til den måde energianalyser udføres på. Scenarieanalyse anses for at være et godt og i forvejen meget anvendt redskab til at undersøge og identificere forskellige mulige fremtidsstrategier for løsning af visse energiproblemer. Sådanne energiproblemer får karakteristika som de såkaldte multikriterieproblemer, hvor man søger at sammenligne og udvælge de bedste

strategier udfra en mængde måleværdier, målt i forskellige enheder, med forskellige krav til og divergerende opfattelser om vigtigheden af de forskellige målsætninger.

De traditionelt anvendte metoder til evaluering af scenarier strategier passer ikke nødvendigvis ind i den teoretiske ramme for ovenstående problemstilling. Multikriteriemetoder synes derfor som et godt alternativ, der analytisk, teoretisk passer bedre.

For at sikre sig den bedst mulige basis for en scenarieevaluering, der bygger på anvendelse af multikriteriemetoder, må man stille krav til den del af scenarieanalysen, der går forud herfor. Der er her diskuteret nogle punkter i scenarieanalyseprocessen, der er specielt betydende for resultatet af scenarieanalyse. Ligeledes er der givet enkelte forslag til, hvilke metoder der kan støtte udførelsen af visse punkter.

De punkter, der er diskuteret som værende betydende punkter i en scenarieanalyse kan samtidig anses for principper til en mere struktureret og formaliseret fremgangsmåde for scenarieanalyse.

Referenceliste

Becker, H.S., (1983): Scenarios. A Tool of Growing Importance to Policy Analysts in Government and Industry. *Technological Forecasting and Social Change*, vol 23, pp. 95-120.

Brown, B.J., Hanson, M.E., Liverman, D.M., and Meridith, Jr., R., W. (1987): Global Sustainability. Toward Definition. *Environmental Management*, vol. 11, no 6, pp. 713-719.

Cocklin, C.R. (1989). Methodological problems in evaluating sustainability. *Environmental Conservation*, vol. 16, no 4, pp. 343-351.

Dasgupta, A.K. and Pearce, D.W. (1972): *Cost-benefit analysis*. MacMillan, London.

Energiministeriet (1990): *ENERGI 2000. Handlingsplan for en bæredygtig udvikling*. Hermann & Fisher, København, Danmark.

Goodland, R.J.A., Daly, H.E. and El Serafy, S. (1993): The urgent need for rapid transition to global environmental sustainability. *Environmental Conservation*, vol. 20, no 4, pp. 297-309.

IPCC (1994): *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (WGI). Vol 1: Reporting Instructions*. OECD, Paris.

Kahn, H., Weiner, A.J. (1967): *The Year 2000*, Macmillan, London.

- Lee, S.M. and Eom, H.B. (1989):** Multiple-Criteria Decision Support Systems: The Powerful Tool for Attacking Complex and Unstructured Decisions. *Systems Practice*, vol. 3, no 1, pp. 51-66.
- Lélé, S. (1994):** *Sustainability, Environmentalism, and Science*. Pacific Institute Report, spring 1994, Oakland, California.
- Meyer, H., Morthorst, P.E., Schleisner, L., Meyer, N.I., Nielsen, P.S. og Nielsen, V. (1994):** *Omkostningsopgørelse for miljøeksternaliteter i forbindelse med energiproduktion*. Risø-R-770(DA). Forskningscenter Risø, Roskilde.
- Morgan, M.G. and Henrion, M. (1990):** *Uncertainty. A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis*. Cambridge University Press, Cambridge, England.
- Morthorst, P.E. (1993):** *The cost of CO₂ reduction in Denmark - methodology and results*. Risø-R-728(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Danmark.
- Munda, G., Nijkamp, P. and Rietveld, P. (1994):** Qualitative multicriteria evaluation for environmental management. *Ecological Economics*, vol. 10, pp. 97-112.
- Selwyn E. (1971):** Delphi and Cross Impact techniques; an effective combination for systematic futures analysis. *Futures*, 3, pp. 48-61.
- Saaty, T.,L. (1980):** *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw Hill, New York.
- UN (1987):** *World Commission on Environment and Development (commission Brundtland), Our Common Future*, Oxford University Press, Oxford.
- UNEP (1993):** *UNEP greenhouse gas abatement costing studies. Phase two report*. UNEP Collaborating Centre, Risø National Laboratory, Roskilde.

DEL 2:

Multikriteriemetoder

- præsentation og sammenligning

Multikriteriemetoder

- præsentation og sammenligning

Sammenfatning

Multikriterieproblemer er velkendte for alle. De mere formaliserede metoder til at løse disse er mindre kendte. Relativt stor matematisk kompleksitet og mangel på anvendelseksemppler på virkelige problemer kan være årsag til dette. For ikke-eksperter kan det være yderst vanskeligt at få et passende indblik i, hvad metoderne kan, og hvorledes man kan anvende dem. Denne del præsenterer basis for mange multikriteriemetoder. Der lægges vægt på at give et overblik og indblik mere end en fyldestgørende matematisk beskrivelse. Idet metoderne er forskellige og disse forskelle kan være større eller mindre, er det sjældent nemt at vælge en metode, som kan karakteriseres som værende den bedste at anvende overfor et bestemt problem. Her præsenteres en basis, der kan bruges til vurdering og sammenligning og senere udvælgelse af en passende multikriterie-metode. Denne basis er eksemplificeret ved at sammenligne ni eksisterende metoder, ud fra brugerkrakterier såsom gennemsigthed, applikationer og håndtering af usikkerhed.

1 Indledning

Hverdagen er fyldt med valg, der indeholder hensyn til mange aspekter, som ofte er modstridende på en eller anden måde, og ikke nødvendigvis kan 'måles' på en ensartet skala som for eksempel penge. Som eksempler herpå kan nævnes valg af biltype, feriemål, lokalitet for placering af elektricitetsværk og meget mere. I virkeligheden er der her tale om, at man håndterer et multikriterieproblem; der er tale om et problem, der involverer mange (multi) kriterier og krav til opfyldelse af et overordnet mål. Opfyldelse af alle kriterier på én gang kan ofte ikke lade sig gøre, idet de er modstridende, og der kan være vanskeligheder med at formulere og kvantificere alle kriterier. Derfor kan der være tale om, at man vælger et bedste alternativ ud fra en mængde af alternativer. De såkaldte multikriteriemetoder kan anvendes over for sådanne problemsituationer.

Der eksisterer et næsten utælleligt antal multikriteriemetoder. Metoderne har teoretisk basis i operationsanalyse og bygger derfor generelt på, at man forsøger at kombinere de forskellige kriterier på en hensigtsmæssig måde, således at man kan vælge den bedste løsning. Kombinationen af kriterierne kan ske ud fra hensyn til, hvilke man lægger mest vægt på, samt forskellige trade-off overvejelser. Det kan være vanskeligt at få overblik over de forskellige metoder. Metoderne varierer i forudsætninger, kompleksitet af matematiske algoritmer og generelt i gennemsigthed (hvor nemt det er at forstå idéen bag metoden og at anvende den). Deres anvendelse har været begrænset. Det kan skyldes at metoderne er af nyere oprindelse (det tager altid noget tid før 'nyheder' slår an), at de er for komplekse at forstå og bruge (for ikke-

eksperter), samt at der ikke er tradition for at anvende denne form for metoder i virkelighedens problemløsning (der tænkes her specielt på de problemer man kan være stillet overfor i private og offentlige organisationer).

Formålet med denne del af rapporten er at præsentere nogle idéer og principper bag udvalgte multikriteriemetoder. Ligeledes er det formålet at præsentere en fremgangsmåde, der kan anvendes som basis for en sammenligning af metoderne trods disses åbenlyse forskelle. Denne sammenligning kan være et led i at udvælge den metode, man ønsker at anvende overfor et givet problem. Der er hverken i præsentationen eller metodesammenligningen lagt særligt vægt på de matematiske algoritmer og finesser. Det er formålet at forsøge at give et indblik og en basis, der kan anvendes af personer med en rimelig viden om operations analytiske metoder, men som ikke er eksperter i matematik og multikriteriemetoder. Basis for sammenligningen bygger derfor på, hvorledes en bruger (som ikke i forvejen er ekspert i multikriteriemetoderne) ville gennemgå en række metoder og udvælge den bedst egnede, til forskel fra at sammenligne matematiske finesser og algoritmernes 'run-time' i forbindelse med implementering på en computer (hvilket er det der oftest anvendes som basis ved sådanne sammenligninger).

Det er et par steder forudsat, at man har tænkt sig at anvende en multikriteriemetode over for et bestemt problem. Her er valgt det for rapporten gennemgående problem, hvor man ønsker at kunne udvælge 'det bedste' energiscenarie, der skal repræsentere en strategi for national energiplanlægning, som præsenteret i del 1. Strategien skal tage hensyn til og omfatte kriterier mål og krav knyttet til bæredygtig udvikling.

Del 2 er opbygget således. *Afsnit 2* anfører nogle af de mest anvendte begreber, der knytter sig til multikriterieproblemer og metoder og kan anses for at danne grundlag for at kunne forstå aspekterne i multikriterieproblemer. *Afsnit 3* præsenterer nogle af de vigtigste principper og metoder til løsning af multikriterieproblemer. Overordnede løsningsprincipper er ramme for udvikling af forskellige metoder. Det er en måde at klassificere de mange metoder på, og angive nogle af de forskelle de bygger på. I *afsnit 4* foreslås en basis for vurdering og sammenligning af forskellige multikriteriemetoder. Der er her taget udgangspunkt i den udvælgelsesproces en ikke-ekspert bruger kunne tænkes at følge, når han/hun ønsker at finde og anvende en metode. Gennemsigtighed, applikationer og håndtering af usikkerhed er nogle af de aspekter, der er taget med. En ellipse anvendes til at repræsentere de enkelte metoders opfyldelse af disse aspekter på en grafisk, overskuelig måde. Anvendelsen af basis for sammenligning er eksemplificeret i *afsnit 5*. Her er der taget ni forskellige metoder, som er vurderet og sammenlignet ved den foreslåede udvælgelsesproces. *Afsnit 6* indeholder en opsummering af de hovedaspekter, der er omhandlet af denne del.

2 Grundlæggende begreber

Generelt for multikriteriemetoderne er formålet med disse at løse problemer med mange (multiple) og ofte modstridende kriterier. Et eksempel på sådan et problem er vurderingen af et lands strategi for reduktion af CO₂ emissioner. Et problem af denne

art kræver en vurdering og en målsætning for udviklingen af mange forskellige sektorer for at opnå en samlet ønsket effekt. Eksempler på modstridende kriterier kunne være ønsket om at bevare en vis økonomisk vækst, mens man på den anden side vil sikre bevarelsen af alle bestående naturressourcer og natur. Den eneste måde at håndtere dette problem på er ved at vurdere, hvilke kriterier, som skal prioriteres højest og måske samtidig finde ud af, hvilke 'trade-offs' mellem forskellige målsætninger det vil give. Hermed kan man ende med en form for kompromis løsning.

Der skal knyttes nogle generelle kommentarer til beskrivelsen af multikriteriemetoderne. Der er en række begreber, som er fælles for metoderne, men som ofte anvendes forskelligt. Her skal derfor specificeres nogle af de vigtigste nøglebegreber. Følgende er baseret på Stewart (1992), Korhonen *et al.* (1992) og Keiding (1988).

Multikriteriemetoderne er knyttet til problemsituationer, hvor der skal vælges mellem visse alternativer, og hvor der foreligger en række kriterier for, hvad det er, man ønsker de forskellige alternativer skal opfylde før, at de kan betegnes som 'ønskelige'. Oftest er både alternativer og kriterier formuleret (specificeret) i både kvalitativ og kvantitativ form. Til den kvalitative beskrivelse anvendes *indikatorer*, der beskriver alternativernes egenskaber, effekt eller attributter (på engelsk anvendes blot 'attributes' til beskrivelse af alternativerne). Kriterierne kan også formuleres i kvantitativ form, som en begrænsning af indikatorværdien til scenarioslut tidspunktet. Heri ligger altså at hvert alternativ, X_i ($i = 1, \dots, t$), kan beskrives ved en n -dimensional vektor:

$$X_i = \begin{pmatrix} x_{i1} \\ \cdot \\ \cdot \\ x_{in} \end{pmatrix},$$

hvor der på de enkelte elementer i alternativet kan ligge nogle restriktioner af typen: $g_i(x_i) \leq 0$, $i=1, \dots, m$. Der kan være m restriktioner på hvert element i de forskellige alternativer. Kriterierne (antal k for hvert element) kan ligeledes opskrives som funktioner: $f_i, i=1, \dots, k$.

At der er flere kriterier på en gang kan dels skyldes, at problemstituationen kræver dette (som f.eks. et problem med bæredygtig udvikling - se del 1) og/eller det kan skyldes, at flere end en beslutningstager er involveret i udvælgelsen (forskellige personer kan have forskellige syn på problemet og dermed på kriterier, der skal opfyldes).

Derudover kan de forskellige kriterier være prioriteret eller vægtet forskelligt. For at nå det overordnede mål med at udvælge det 'rette' alternativ, kan man synes, at der skal lægges mere vægt på opfyldelsen af nogle kriterier fremfor visse andre.

Problemet går så i al sin enkelhed ud på at opfylde kriteriefunktionerne bedst muligt, givet de restriktioner og prioriteter, man har forudsat. Med bedst muligt skal forstås en løsning, der optimerer kriteriefunktionerne bedst. Det er usandsynligt, at man kan finde en løsning, der optimerer samtlige kriteriefunktioner på en gang (ofte vil en øgning i en kriteriefunktion bevirke en mindskning i en anden), derfor ønskes en tilfredsstillende

løsning mere end en optimal løsning (se for eksempel Korhonen and Laakso, 1986, for en dybere beskrivelse af de matematiske argumenter bag disse overvejelser).

Såfremt man ikke præcist kan sætte en værdi for de forskellige kriterier arbejdes der med aspirationsniveauer; a_1, \dots, a_k (et sæt for hvert kriterium) således, at man skal finde en mulig løsning x , der opfylder

$$f_1(x) \geq a_1, \dots, f_k(x) \geq a_k$$

Det skal nævnes, at alternativerne kan være givet eksplicit (målsætninger og alternativer kan udtrykkes direkte i beslutningsvariable) eller implicit (målsætninger og alternativer kan kun udtrykkes indirekte gennem beslutningsvariable) og i et endeligt eller uendeligt antal alternativer. Ligeledes kan der være tale om en deterministisk eller stokastisk problembeskrivelse. Her skal der ikke gås i detaljer med de forskelle det måtte give i problemformulering og løsning. Såfremt man skal anvende metoderne i praksis antages oftest, at der er givet et endeligt antal alternativer, der kan beskrives eksplicit og deterministisk. Det gøres også i det følgende med mindre andet er anført.

3 Principper og metoder

Flere gange er der allerede nu omtalt 'metoder'. Der skal i det følgende skelnes mellem principper og metoder. Løsningsprincipper er overordnede principper, der på en eller anden måde udvælger et alternativ fremfor et andet. Indenfor hvert løsningsprincip findes en lang række metoder. Nogle af de mere overordnede, og mere anvendte principper skal her benyttes til klassifikation af forskellige metoder. Nogle principper og eksempler på metoder herunder kan ses i tabel 3.1.

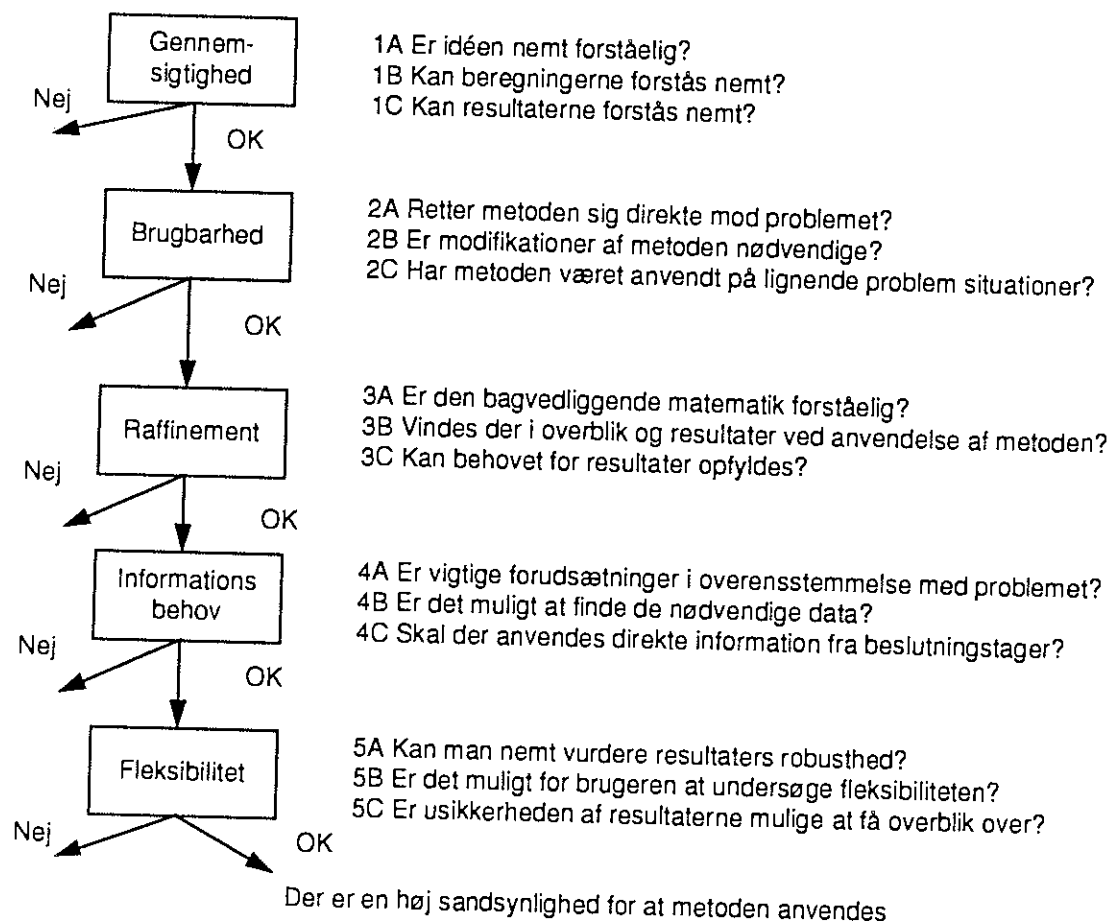
Idet der ikke findes mange danske oversættelser af princip- og metodenavne er der visse steder angivet den engelske oversættelse af disse. Som allerede nævnt skal der ikke gås i detaljer med matematikken bag principper og metoder. Der skal kun beskrives så meget, at man kan 'aflæse' forskelle mellem principper og mellem metoder under samme princip.

Tabel 3.1. Oversigt over forskellige principper og metoder.

| Princip | Eksempler på metoder |
|--|--|
| Værdi- og nytteteori samt præference måling | <ul style="list-style-type: none"> • Vægtet summering^{1,2} • Lexikografisk metode¹ • Evamix² • Regime² • VISA³ |
| Analytiske Hierarki Proces ^{5,6} | <ul style="list-style-type: none"> • HIPRE 3+⁴ • EXPERT CHOICE^{5,11} |
| Mål Programmering | <ul style="list-style-type: none"> • Archimedisk⁶ • Pre-emptive⁶ • Tchebycheff / Min-max⁶ |
| Udskilning (outranking på engelsk) | <ul style="list-style-type: none"> • ELECTRE I, IS, II, III, IV, A^{1,7} • PROMETHEE¹ |
| Beskrivende metoder (Descriptive methods på engelsk) | <ul style="list-style-type: none"> • GAIA^{6,8} |
| Reference punkt procedurer | <ul style="list-style-type: none"> • STEM¹ • Wierzbicki's ref. pkt. metode¹ |
| Interaktive metoder | <ul style="list-style-type: none"> • VIG⁷ • Geoffrion-Dyer-Feinberg¹ • Zionts-Wallenius Procedure¹ |
| Fuzzy sæt | <ul style="list-style-type: none"> • Mål Programmering⁶ • Værdifunktions modeller⁶ |

¹Vincke *et al.* (1992), ²Janssen *et al.* (1990), ³Belton and Vickers (1990), ⁴Hämäläinen (1992), ⁵Forman (1990), ⁶Stewart (1992), ⁷Korhonen and Laakso (1986), ⁸Brans and Mareschal (1990), ⁹Keeney and Raiffa (1993)

Alle principper og metoder behøver et vist input fra brugeren/beslutningstageren. Præferencer og/eller vægte på forskellige kriterieelementer og alternativer er ofte den form for information, der behøves. Nogle metoder kan håndtere verbal information, mens andre behøver kvantitative input. Det antages, at princippene/metoderne håndteres af en ekspert. Det vil sige, at det er eksperten, der mere eller mindre udfører beregningerne ved hjælp af algoritmerne og med hjælp fra beslutningstageren. Beslutningstageren er den person, der er interesseret i at anvende det bedste alternativ og således er interesseret i at anvende resultatet af beregningerne. Beslutningstageren antages ligeledes at være den (eller de) person (personer), som er i stand til at give eksperten den viden/input, der skal til at udføre beregningerne. Denne viden er oftest i form af at være med til at beskrive problemsituationen, kriteriefunktioner og målsætninger for beregningerne, samt præferencer og vægte på de forskellige alternativer og kriterier. Det antages altså, at der er en vis form for udveksling af information og samarbejde mellem analytiker og beslutningstager. Naturligvis er det muligt for beslutningstageren selv at anvende multikriteriemetoderne, såfremt hun/han har en tilstrækkelig forståelse af disse. Det er dog forfatterens mening, at langt de fleste metoder ikke kan anvendes uden en eller anden form for modelramme/computer program, der kan strukturere anvendelsen af metoden og foretage de egentlige beregninger. Eksempler på sådanne modeller er omtalt i del 3 af denne rapport.



Figur 4.1 Karakteristika og spørgsmål i udvælgelsesprocessen

metodens brugbarhed ved at undersøge i, hvilken udstrækning den har været anvendt på lignende problemer i andre studier. Såfremt man ser, at metoden er anvendt i vid udstrækning med gode resultater til følge, vil man sandsynligvis være mindre nervøs.

- *Raffinementet* er knyttet til de mere matematiske finesser af metoden. Det vil være forskelligt fra bruger til bruger, hvor meget vægt der lægges på denne del. Dog er det ikke af ringe betydning at kunne vurdere om de matematiske ligninger metoden er baseret på kan forklares og forstås uden den større matematiske viden. Der vil være brugere, som ikke mener at komplicerede matematiske ligninger er et aktiv for en metode, mens andre mener at der knyttes en større grad af videnskab til studiet, såfremt der er anvendt en kompliceret teoretisk matematisk ramme. Uanset, hvad det er man foretrækker må det sammenholdes med, hvad man vinder i overblik og resultater ved at anvende en metode med den bestemte grad af kompleksitet. Det kan eventuelt sammenholdes med, hvad man kunne få ud af at anvende en fremgangsmåde, man traditionelt ville anvende (som for eksempel en cost-benefit analyse eller lignende). Hermed kan man også vurdere om metoden fremkommer med alle de resultater, man gerne ville kunne bruge til at tage en beslutning ud fra. Hvis ikke alle resultater kan findes ved denne metode, må man overveje om de kan undværes eller man på anden vis kan finde de manglende resultater.

- *Informationsbehovet* er et vigtigt led for udvælgelsen af metoden. Hvis man ikke kan få det data, der skal anvendes for at bruge metoden, så er det spørgsmålet om man skal vælge den metode. I alle studier er man nødt til på en eller anden måde at gøre sig nogle antagelser vedrørende data. Enten fordi man ikke kan få de pågældende data (kan måske ikke måle sig frem, har ikke og kan ikke finde de rigtige data), eller fordi det er for vanskeligt at finde de rette data (detaljeringsniveau, og lignende). Som en del herunder skal man vurdere om de forudsætninger, der er knyttet til anvendelsen af data er i overensstemmelse med problemet, der undersøges. Hvis metodeforudsætningerne er væsentligt anderledes end virkeligheden på dette område, skal man vurdere, om det er tilstrækkeligt at slække lidt på disse eller, om det ikke er muligt at anvende metoden. Samme overvejelser kommer man ud for, når man vil finde det data, der skal puttes ind i metoden for, at man kan udføre beregningerne. Som allerede nævnt er det vigtigt, at man som bruger har indflydelse på beregningerne, dels ved at kunne afgive den information man har om det pågældende problem, og dels ved at kunne angive hvilke præferencer man har overfor forskellige krav og kriterier. Der skal være en vis del af medindflydelse, hvorfor det ligeledes er nødvendigt at vurdere, i hvor stor udstrækning der anvendes denne information direkte ved beregningerne.
- *Fleksibiliteten* af metoden er ligeledes af stor vigtighed. Flexibilitet omhandler robustheden af resultaterne af beregningerne, samt hvor nemt det er at gøre beregningerne om igen (eventuelt med andre værdier/data/præferencer). Typisk ser man ikke på dette kriterium før, man nærmest har anvendt metoden og er færdig med resultaterne - dels på grund af at det typisk først bliver et interesseområde på det tidspunkt, men også fordi man sjældent kan vide disse ting før man har anvendt metoden færdigt. Alligevel er det et meget vigtigt aspekt, som må indgå i enhver undersøgelse af en metode. Uanset typen af studium og anvendelse af dets resultater er det af relevans at kunne få information om resultaternes usikkerhed. Det er altid den slags personer, som ikke har været involveret i løsning af problemet, som vil efterspørge dette. Det er langt fra alle metoder, der giver mulighed for information af denne type, og derfor er hovedvægten af dette kriterie lagt på, at man skal kunne sige noget om fleksibiliteten af resultaterne. Flexibilitet af resultaterne angiver ikke sandsynligheden for, at resultaterne er som angivne, men ved at udføre flere beregninger med varierende tal, kan man få et indblik i, hvor robust en bestemt løsning er.

Kriterierne og de enkelte spørgsmål kan tillægges forskellig vigtighed. Tabel 4.1 viser hvilke vægte de enkelte spørgsmål er vægtet med her. Det antages, at hvert spørgsmål kan besvares med enten et 'fuldt ud', 'tilstrækkeligt' eller 'ikke tilstrækkeligt'. Hvis et spørgsmål besvares med et 'fuldt ud' tillægges man det pågældende spørgsmål 2 point. Besvares spørgsmålet med et 'tilstrækkeligt' gives der 1 point, og ved et 'ikke tilstrækkeligt' gives det ingen point. Pointene vægtes med vægtene der er opskrevet i tabel 4.1 Det skal nævnes, at vægtene der er knyttet til de forskellige spørgsmål ikke har andet formål end at kunne sammenligne de forskellige multikriteriemetoder.

Der skal knyttes et par kommentarer til spørgsmålene og de vægte, de er tillagt. Med hensyn til antallet af modifikationer metoden skal undergå før, den kan bruges (spørgsmål 2B) er den pågældende vægt valgt af to grunde. Naturligvis er det af stor

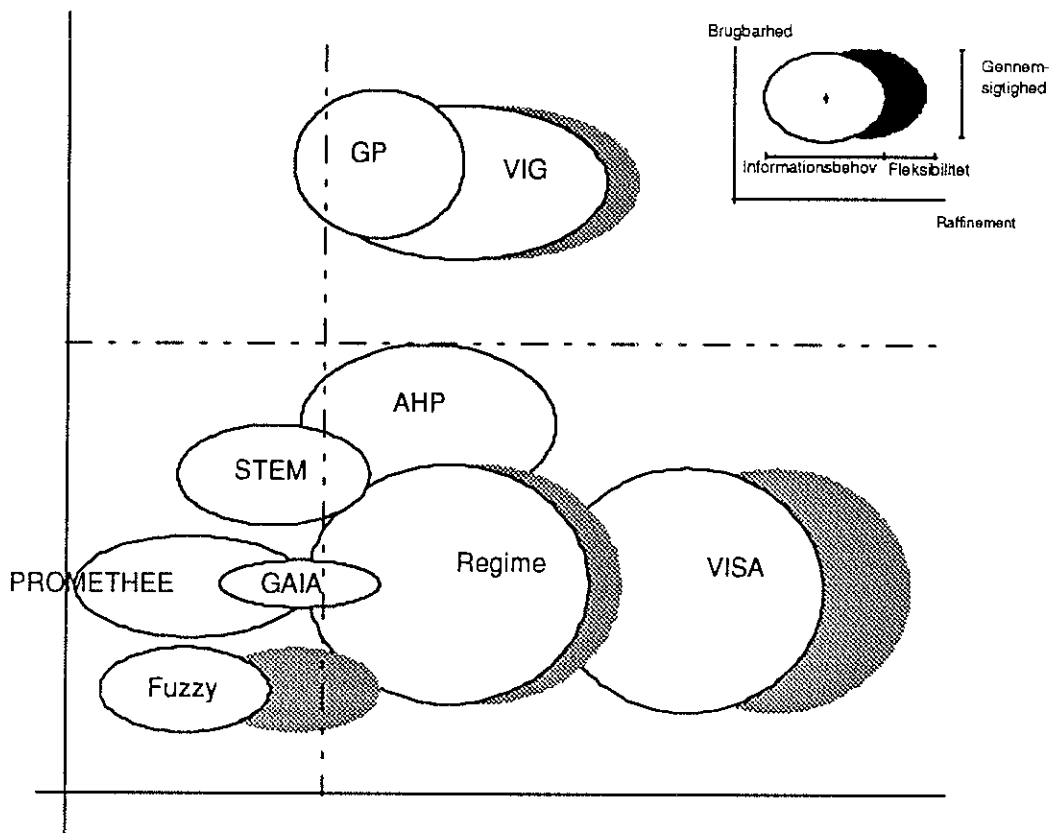
Table 4.1 Spørgsmålene og de vægte der er associeret med disse

| Kriterium og spørgsmål | Vægt | Kommentar |
|--|------|--|
| <i>Umiddelbar forståelse</i> | | |
| • 1A Er idéen nemt forståelig? | 3 | Det er ønskeligt med en let forståelig overordnet idé |
| • 1B Kan beregningerne forstås nemt? | 1 | Det er ønskeligt hvis selve beregningsprincipperne er nemt forståelige men dette vurderes at være af mindre betydning end spørgsmålene 1A og 1C. |
| • 1C Kan resultaterne forstås nemt? | 3 | Forståelse af resultaterne er af stor vigtighed |
| <i>Brugbarhed</i> | | |
| • 2A Retter metoden sig direkte mod problemet? | 2 | Dette er vigtigt men det kan ikke forventes at metoden passer fuldstændig |
| • 2B Er modifikationer af metoden nødvendige? | 2 | Niveauet af de modifikationer man skal foretage er af vigtighed |
| • 2C Har metoden været anvendt på lignende problem situationer? | 3 | Det er meget vigtigt at kunne lære fra andres brug af metoden |
| <i>Raffinement</i> | | |
| • 3A Er den bagvedliggende matematik forståelig? | 2 | Nogen vil synes, at dette punkt er uden betydning. Her er det vurderet til at være af middel betydning |
| • 3B Vindes der i overblik og resultater ved anvendelse af metoden? | 3 | Det regnes for at være af stor vigtighed at metoden kan give en et øget overblik i forhold til det ubehandlede problem og til den metode, man alternativt ville have brugt |
| • 3C Kan behovet for resultater opfyldes? | 3 | Ligeledes er det meget vigtigt, at man kan opnå alle de resultater, man forventer/ ønsker |
| <i>Informationsbehov</i> | | |
| • 4A Er vigtige forudsætninger i overensstemmelse med anvendelse af metoden? | 2 | Det er usandsynligt at alle forudsætninger er foretaget fuldstændig i overensstemmelse med det pågældende problem, derfor er dette ikke vægtet som meget vigtigt |
| • 4B Er det muligt at finde de nødvendige data? | 3 | Det er meget vigtigt, at man kan få de nødvendige data til at bruge metoden |
| • 4C Skal der anvendes direkte information fra beslutningstager | 2 | Det antages at være af betydning, hvis beslutningstageren skal bidrage med direkte information |
| <i>Fleksibilitet</i> | | |
| • 5A Kan man nemt vurdere resultaternes robusthed? | 3 | Det vurderes at være meget vigtigt at kunne vurdere robustheden af resultaterne og beregninger |
| • 5B Er det muligt for brugeren at undersøge fleksibiliteten? | 1 | Det regnes for at være ønskeligt men ikke et krav |
| • 5C Er usikkerheden af resultaterne mulige at få oplysning om? | 2 | Det er relativt vigtigt at kunne vurdere usikkerheden af resultaterne |

relevans at vide, om man skal foretage mange eller få modifikationer. Men man skal være opmærksom på, at det ikke kun er antallet af modifikationer men ligeledes typen, der skal vurderes. Der kan være tilfælde, hvor der skal få men temmeligt store modifikationer til. Ligeledes kan det være helt i orden at indføre nogle modifikationer, såfremt de er små. Derfor har det været vurderet, at vægten på dette spørgsmål ikke skal være mere end 2. Med hensyn til brugen af den direkte information fra beslutningstagere (spørgsmål 4C) kan der være nogen, som ikke synes, at det er vægtet nok. Nogle vil anse netop dette spørgsmål for yderst vigtigt. Der kan dog være situationer, hvor den information af forskellige årsager ikke er tilgængelig, men det er af forfatterens mening ikke en direkte årsag til at en metode bliver uinteressant. Der er mange niveauer, hvorpå beslutningstagere kan involveres. Det er her vurderet at en eller anden form for direkte input er godt men ikke afgørende vigtigt. Alle spørgsmålene om fleksibilitet (spørgsmålene 5A-C) er ikke nødvendigvis af stor interesse i første omgang for en bruger. Det er faktisk højst sandsynligt, at brugeren ikke vurderer disse ting før metoden er valgt og anvendt på problemet og man vurderer resultaterne som sådan. Her anses det dog for at være af stor vigtighed at kunne få overblik over resultater og beregningers robusthed, mens usikkerhed er mindre vigtig. Det anses for at være mindre sandsynligt, at en bruger selv ville gå i gang med at undersøge beregningernes robusthed, så derfor er dette spørgsmål vægtet kun med 1.

Vurderingen (eller scoren) af de enkelte kriterier findes da ved at vægte de enkelte svar for de tre spørgsmål med vægtene angivet i tabel 4.1 og opsummere disse vægtede svar. Hermed fås en kvantitativ vurdering af de forskellige kriterier, der indgår i udvælgelsesprocessen. Igen skal det nævnes, at denne kvantificering kun har til formål at være basis for en sammenligning af forskellige multikriteriemetoder.

Det er forsøgt at opsummere informationen fra de forskellige spørgsmål og kriterier grafisk. Figur 4.2 viser en ellipse, som er anvendt til dette formål. Ellipsen er placeret i et koordinatsystem, hvor den vertikale position markerer niveauet af brugbarhed. Den horisontale position markerer niveauet af raffinering af metoden. Jo højere og længere væk fra 0 centrum af ellipsen er placeret, jo mere brugbar og raffineret er den pågældende metode vurderet at være. Diameteren af ellipsen i den horisontale retning viser niveauet af informationsbehovet. I ellipsens vertikale diameter er der vist niveauet af umiddelbar forståelse. Bredden af skyggen på ellipsen i den horisontale diameter viser niveauet af fleksibilitet. Jo tykkere og længere ellipsen er jo bedre er metoden med hensyn til informationsbehovet og umiddelbar forståelse. Har ellipsen en bred skygge, er metoden ligeledes vurderet til at have et højt niveau af fleksibilitet. Placeringen af de forskellige karakteristika af ellipsen (og dermed metoderne) er valgt vilkårligt.



Figur 5.1 Grafisk sammenligning af de ni udvalgte multikriteriemetoder. Øverst i højre hjørne er vist basis for, hvad de forskellige akser og ellipsestørrelser betyder. De stiplede linier inddeler blot koordinatsystemet i forskellige områder.

Generelt kan man sige, at der findes områder i koordinatsystemet, der karakteriserer forskellige metoder. Det nederste venstre hjørne repræsenterer metoder med lille raffinement og brugbarhed. Det nederste højre hjørne repræsenterer metoder med stor raffinement men lille brugbarhed. Det øverste højre hjørne viser metoder med stor raffinement og stor brugbarhed. Det kan heraf ses, at disse områder er korreleret med nogle af de andre karakteristika. Det ser ud til at stor raffinement hører sammen med relativt stor gennemsigtighed og informationsbehov. Fleksibiliteten er tydeligt størst for metoderne med laveste raffinement. På den anden side er der for få metoder til, at der kan konkluderes noget definitivt på dette område.

På trods af at alle metoderne har samme formål, nemlig at finde den løsning, som bedst tilfredsstiller de krav, kriterier og mål, man har opstillet, så er det tydeligt, at de er forskellige på netop de fem områder, de vurderes på her. Generelt kan det siges om metoderne, at de har relativt lille brugbarhed og raffinement, og at fleksibilitet kun indeholdes på et eller andet niveau i under halvdelen af de vurderede metoder. Med hensyn til gennemsigtighed og informationsbehov er der større variation mellem metoderne. Alle metoderne har dog et område, hvorpå de kan vurderes at være bedst (igen målt på basis af de her foreslåede kriterier).

Regime og VISA er de metoder, der er vurderet til at have mest gennemsigthed (den vertikale længde af ellipsen). AHP, GP og VIG er vurderet til at have et næsten lige så højt niveau. På trods af dette, er der meget stor forskel på brugbarheden af metoderne (centrums placeringen i y-aksens retning). GP og VIG synes at være de metoder, der har fundet mest anvendelse indenfor det givne problemområde. Det skal bemærkes, at disse metoder er relateret, idet de bygger på samme idé, - den ene metode er bare interaktiv mens den anden ikke er det. Faktisk er disse to metoder i en gruppe for sig på grund af deres brugbarhed. Der er ingen af de andre metoder, der kommer nær. At det netop er disse metoder, der har størst anvendelse kan skyldes flere ting. En ting kan være, at der netop er en lang tradition for at udføre optimeringer af enhver slags (begge metoder bygger på optimeringsprincipper), således at metoderne derved har en 'naturlig' fordel fremfor de andre mere ukendte metoder.

Med hensyn til informationsbehovet (den horisontale længde af ellipserne) er der selvfølgelig stor forskel på GP og VIG. Her er det naturligt nok den interaktive metode, der behøver mest information. AHP og PROMETHEE, Regime og VISA metoderne ligger lige efter. Med hensyn til raffinement (placering af ellipsens centrum i x-aksens retning), er det igen de fem metoder, GP, VIG, AHP, Regime og VISA, der er vurderet højest. VISA kan næsten siges at være i en klasse for sig. Der skal knyttes følgende kommentarer til denne vurdering. Forfatteren har vurderet spørgsmål om overblik og behov for resultater højt. Der er lagt mindre vægt på matematiske finesser. VISA er rent matematisk meget simpel, og det er forfatterens mening at netop dette gør, at metoden er mere brugbar og gennemsigtig. STEM, GAIA, PROMETHEE og Fuzzy sets er vurderet til at ligge i den nedre venstre del af koordinatsystemet. Karakteriseringen af disse metoder er, at de har en brugbarhed, der ligger som Regime og VISA. Fuzzy sets brugbarhed ligger dog noget under. Metoderne har et mindre niveau af raffinement og gennemsigthed. Informationsbehovet er også lavt foruden for PROMETHEE. Fuzzy sets metoden adskiller sig fra de andre metoder specielt på fleksibilitetsområdet. Ingen andre metoder kan tilbyde så meget fleksibilitet. Kun i VISA, Regime og VIG er der inkluderet aspekter af fleksibilitet. Der skal i denne forbindelse kommenteres særskilt på AHP metoden. AHP ligger ind imellem de andre metoder på næsten alle områder. Den har et relativt højt niveau af brugbarhed, hvilket måske aller mest skyldes den måde, problemet struktureres på mere end de matematiske principper og idéer bag. Også med hensyn til raffinement og informationsbehov er metoden vurderet fint. Flexibiliteten er vurderet til at være ikke eksisterende, hvilket er noget misvisende. Flexibiliteten håndteres mere eller mindre indirekte ved den hierarkiske strukturering af det pågældende problem, hvormed der måske ikke er så stort behov for en mere direkte håndtering under selve beregningerne. Selve vurderingen er her mere gået på, at kunne se og eftervise robusthed af resultater mere end vurdering af helheden af metoden.

6 Opsummering

Denne del af rapporten har fokuseret på præsentation og sammenligning af multikriteriemetoder. På grund af det meget store antal metoder, er det forsøgt at

opdele disse i forskellige grupper baseret på hvilke grundlæggende løsningsprincipper, der ligger bag.

Som nævnt er praktisk anvendelse af multikriteriemetoder ikke særlig udbredt. Generelt om metodeme kan man sige, at de er relativt komplicerede, matematisk set, og at det ikke er nemt for ikke-eksperter at få et overblik over forskelle og dermed fordele og ulemper ved at anvende en metode fremfor en anden. Metoderne er heller ikke så nemt tilgængelige, at man uden videre kan anvende dem, når man har forstået princippet bag. Hver især er man mere eller mindre nødt til at implementere metoderne på en computer således, at beregningerne lettes. Også denne del kræver en form for ekspertviden. Indbygget i en computermodel bliver det ofte de ydre ting man fokuserer på, når man drager sammenlignende konklusioner mere end det bliver metodegrundlaget bag.

Her foreslås der en nemt tilgængelig måde, hvorpå man kan sammenligne og vurdere multikriteriemetoder og dermed finde den, der er bedst egnet til formålet. Udgangspunktet for denne sammenligning er den udvælgelsesproces en person ville gennemgå, hvis han/hun skulle gennemgå en mængde metoder og sortere nogle fra, beholde andre og til sidst vælge en til anvendelse overfor et givent problem. En udvælgelsesproces må nødvendigvis indeholde en mængde forskellige kriterier, der alle kan danne basis for en konklusion. Det er her forsøgt at formulere disse kriterier til fem punkter, som trin for trin skal opfyldes på et eller andet niveau før, at brugeren overhovedet overvejer at undersøge metoden yderligere. De fem kriterier vurderes udfra spørgsmål, der vægtes og gives points alt efter, hvor godt de kan opfyldes positivt. Rækken af spørgsmål og kriterier gennemgås med hver metode, der overvejes at anvende. Til at få et overordnet overblik over opfyldelsen af kriterierne anvendes ellipser, der i form, placering i koordinatsystem og skygge viser vurderingen af de forskellige kriterier.

Ni metoder blev udvalgt til at illustrere princippet i udvælgelsesmetoden. Der blev valgt metoder, der kan siges at være repræsentative for de forskellige løsningsprincipper.

Ingen af de her udtagne metoder kan siges at være 'den bedste'. I al fald kommer en sådan vurdering udelukkende ud på, hvilke kriterier man ønsker at lægge mest vægt på, og hvilke man bedre kan leve med er knapt så godt opfyldte. Det man kan anvende en sådan fremgangsmåde til er at få et overblik over enkelte forskelle mellem metoderne, så en egentlig udvælgelse af den metode, der passer en bruger bedst, kan finde sted på baggrund af overvejede kriterier. Der er store forskelle på, om man foretrækker at anvende en metode med lille informationsbehov eller stor brugbarhed. En sådan afvejning vil altid være subjektiv og afhænge meget af problemet og behovet for resultater. I virkeligheden er udvælgelsen af en metode selv et multikriterieproblem, hvor man er nødt til at forsøge at formulere og prioritere forskellige kriterier, således at trade-offs bliver tydeligere og valgt kontrolleret efter behov og nødvendighed. Den foreslåede grafiske metode giver et umiddelbart overblik, der kan danne basis for en sammenligning og udvælgelse.

Denne form for sammenligning kan modificeres efter behov. Såfremt man ikke synes, at de her valgte kriterier og/eller spørgsmål er dækkende, kan der ændres på dette efter

behov. Der kan medtages eller fravælges kriterier, således at man selv får den basis man synes er dækkende. For at få en relativt konsistent vurdering af de forskellige metoder, er det vigtigt, at det er samme person/personer, som vurderer spørgsmål og kriterier. Som allerede nævnt flere gange vil alle spørgsmål kunne besvares forskelligt alt efter præferencer og viden.

Referenceliste

Belton, B., and Vickers, S. (1990): *Use of a simple multi-attribute value function incorporating visual interactive sensitivity analysis for multiple criteria decision making.* In: Bana e Costa, C.,A. (ed.)(1990): *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*, pp. 319-334, Springer-Verlag.

Brans, J.P. and Mareschal, B: (1990): The PROMETEE methods for MCDM; the PROMCALC, GAIA and BANKADVISOR software. In: Bana e Costa, C.,A. (ed.) (1990): *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*, pp. 216-252, Springer-Verlag.

Forman, E.H. (1990): *Multi Criteria Decision Making and the Analytic Hierarchy Process.* In: Bana e Costa, C.,A. (ed.)(1990): *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*, pp. 295-318, Springer-Verlag.

Franz, L.S. and Lee, S.M. (1980): *A goal programming based interactive decision support system.* Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, vol. 190. Springer Verlag, pp. 110-115.

Janssen, P., Nijkamp, P, and Rietveld, P. (1990): *Qualitative Multicriteria Methods in the Netherlands.* In: Bana e Costa, C.,A. (ed.)(1990): *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*, pp. 383-409, Springer-Verlag.

Keeney, R.L., and Raiffa, H. (1993): *Decisions with Multiple Objectives. Preferences and Value Tradeoff.* Cambridge University Press.

Keiding, H. (1988): *Operationsanalyse 1988 I.* (kapitel 8: Multikriteriebeslutningsproblemer) Undervisningsmateriale på Københavns Universitet.

Korhonen, P. (1990): The Multiobjective linear programming decision support system VIG and its applications. In Bana e Costa, C.,A. (ed.) (1990): *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*, pp. 471-491, Springer-Verlag.

Korhonen P.J, and Laakso, J. (1986): A Visual Interactive method for solving the multiple criteria problem. *European Journal of Operational Research*, vol 24, no 2, pp. 277-287.

Korhonen, P., Moskowitz, H., and Wallenius, J. (1992): Multiple criteria support - A review. *European Journal of Operational Research*, vol. 63, pp. 361-375.

Saaty, T.L. (1980): *The Analytical Hierarchy Process*. McGraw Hill, New York.

Stewart, T.J. (1992): A critical survey of the status of multiple criteria decision making theory and practice. *OMEGA, International Journal of Management Science*, vol. 20, no 5/6, pp. 569-586.

Vincke, P., Gassner, M, and Roy, B. (1992): *Multicriteria Decision-Aid*. John Wiley & Sons.

Zadeh, L.A. (1965): Fuzzy sets. *Information Control*, vol 8, pp. 338-353.

DEL 3:

Multikriteriemodeller

- til anvendelse og håndtering af usikkerhed

Multikriteriemodeller

-til anvendelse og håndtering af usikkerhed

Sammenfatning

En måde at gøre multikriteriemetoder mere tilgængelige på er at 'bygge' metoderne ind i computermodeller eller de såkaldte beslutningsstøttesystemer. Konstruktion af beslutningsstøttesystemer øger fokus på hele problemløsningsprocessen fra strukturering til præsentation af en løsning. Modellerne giver samtidig mulighed for at undersøge visse usikkerhedsaspekter i forbindelse med beregningerne. Den generelle ramme for multikriteriebeslutningsstøtte systemer præsenteres og eksemplificeres med 3 allerede eksisterende og anvendte modeller. Præsentationen viser, at usikkerhedsaspekter, der kan undersøges direkte, begrænser sig mere eller mindre til de målelige værdier, som er anvendt som basis i beregningerne. Projektet viser at disse aspekter er langt fra nok. Usikkerheder i forbindelse med problemstrukturering, valg af løsningsmetode og præsentation af resultater er andre områder, hvortil usikkerhed kan dominere. Det foreslås derfor at konstruere et multikriteriebeslutningsstøttesystem, som fokuserer på den overordnede usikkerhed, og dermed mindsker usikkerheden ved selve multikriterieberegningerne. Det ses som en alternativ måde at håndtere usikkerhed på ved multikriterie beregninger - alternativt til decideret at ændre algoritmerne.

1 Indledning

Multikriteriebeslutningsstøttesystemer udvikles og anvendes i nogle få ministerier og institutioner rundt omkring i Europa. Modellerne er set anvendt i energimæssige og andre ofte komplicerede problemstillinger. Kort beskrevet er et beslutningsstøttesystem en computermodel, der sigter mod at bidrage til løsning af multikriterieproblemer. De bygger på en eller flere multikriteriemetoder og giver ofte faciliteter til strukturering og beskrivelse af problemet samtidig med præsentation af en eller flere løsninger. Multikriteriebeslutningsstøttesystemer er en form for 'indpakning' af multikriteriemetoder, således at disse bliver lettere tilgængelige for ikke-eksperter, og det synes at være den form, hvorpå multikriteriemetoder kan finde anvendelse i praksis.

De eksisterende modeller indeholder varierende muligheder for at undersøge robusthed og usikkerhed ved beregningerne. Fælles herfor er, at man kan undersøge usikkerheder knyttet til enkeltværdier af parametre, der indgår i metodeberegningerne, det vil sige nogle usikkerheder, der i princippet kan kvantificeres. Usikkerhedsanalyserne foregår efter at de egentlige beregninger af løsninger og er baseret på simple principper, der sammenligner oprindelige løsninger med løsninger fundet med ændrede parameter-værdier. Ser man isoleret på metoder og modeller, kan det se ud som om, at den slags

usikkerheder er de eneste betydende. Det er de ikke. Der eksisterer typer af usikkerhed, der ikke kan måles, og som man derfor ikke direkte undersøger/tager højde for. For at få et fuldstændigt overblik over usikkerhed tilknyttet multikriterieberegninger er man nødt til at se på processen fra det punkt, hvor man opfatter, strukturerer og beskriver et problem, beregner en løsning, og præsenterer og anvender denne til at tage en beslutning. Disse aspekter kan belyses gennem en hensigtsmæssig konstruktion og anvendelse af et multikriteriebeslutningsstøttesystem. Den øgede belysning af struktureringen af problemet hænger sammen med, at multikriteriemetoderne tænkes anvendt overfor en energimæssig kompleks problemstilling.

Formålet med rapportens del 3 er at identificere de faktorer, som er associeret med usikkerhed, når man anvender multikriteriemetoder. Der tages udgangspunkt i, at metoderne anvendes i praksis i form af beslutningsstøttesystemer. Derfor fokuseres der på usikkerhed i denne forbindelse. Ligeledes er det formålet at foreslå en modelramme til løsning af multikriterieproblemer associeret med energispørgsmål og som tager højde for usikkerheder bedre end metoder og eksisterende modeller gør.

Rapportens del 3 indeholder følgende. *Afsnit 2* præsenterer den generelle definition på et multikriteriebeslutningsstøttesystem samt 3 eksempler på eksisterende modeller. Ved præsentationen af de eksisterende modeller er der lagt vægt på at vise, hvad modellerne indeholder i form af muligheder for håndtering af usikkerhed. I *afsnit 3* identificeres en række punkter, der kan være associeret med usikkerhed. Punkterne strækker sig fra problemstrukturering, til valg af metode, til selve specificeringerne ved anvendelse af metoden til præsentationen af resultaterne. Der kan ikke opnås et mål for usikkerheden associeret med hvert af punkterne, men til gengæld kan man håndtere disse på en anden måde. En modelramme til håndtering af de centrale usikkerhedsaspekter er foreslået i *afsnit 4*. Modelrammen er opbygget som et beslutningsstøttesystem, hvor der er foretaget nogle udbygninger til håndtering af usikkerheder. *Afsnit 5* indeholder en opsummering af denne dels konklusioner.

2 Multikriteriebeslutningsstøttesystemer

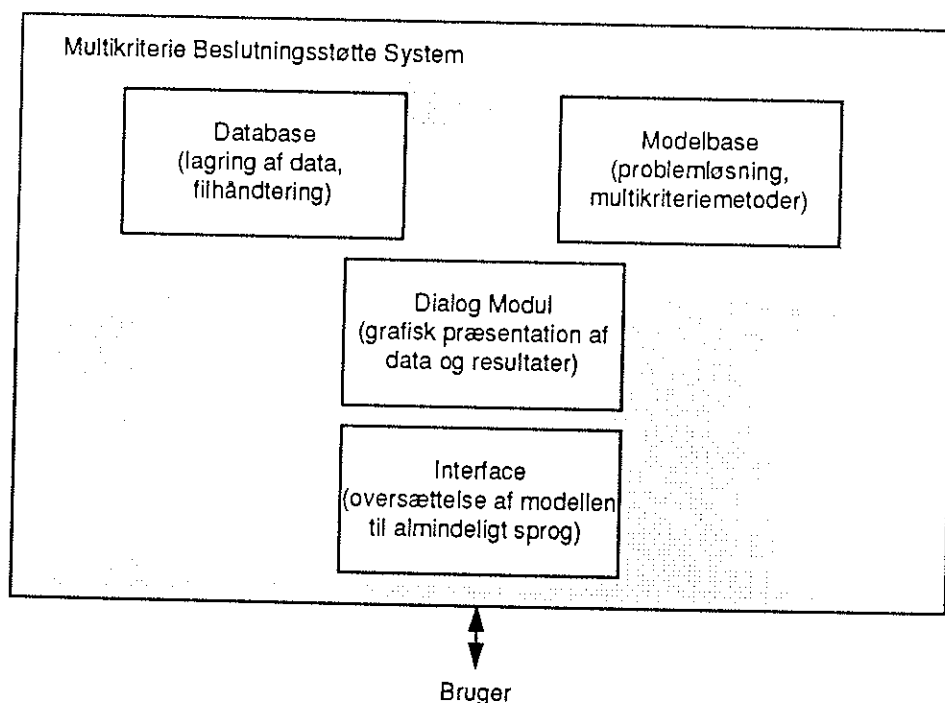
Et multikriteriebeslutningsstøttesystem kan defineres som et beslutningsstøttesystem, der har specielle karakteristika, som dækker over, at de kan løse multikriterieproblemer. Kort kan man sige, at multikriteriebeslutningsstøttesystemer er et computer-baseret informationssystem, der sigter mod at støtte en beslutningsproces i at finde en løsning på et givet problem. Problemet kan karakteriseres som et multikriterieproblem, hvorfor modellen har karakteristika, der tillader analyse af sådanne problemer. Samtidig indeholder mange beslutningsstøttesystemer flere end en multikriteriemetode til problemløsning, og modellen kan ligeledes anvendes til forskellige faser af modellering/strukturering af problemet og dermed anvendes til en mere helhedsorienteret beskrivelse og løsning af problemet. Der er ikke på forhånd antaget noget om problemernes type eller omfang. Modelleme kan anvendes overfor enhver type problem, der synes at passe ind i den løsningsmetode den pågældende model er baseret på. Der er en overordnet ramme til fælles for eksisterende systemer.

Denne skal præsenteres, og senere eksemplificeres ved nogle af de mest anvendte og kendte beslutningsstøttesystemer.

2.1 Den generelle ramme

Figur 2.1 viser den generelle struktur for multikriteriebeslutningsstøttesystemer. Systemet består af en række moduler, der hver især har en egen funktion. *Databasen* giver mulighed for at lagre information i form af scenarier/projekter/ opgaver samt at håndtere disse på ønsket måde (slette, rette, oprette nye, kopiere, importere, eksportere og så videre). I forbindelse med multikriterieproblemer vil den information, man lagrer typisk være en problembeskrivelse samt løsning.

Modelbasen er den del af modellen som udfører opgaverne og som karakteriserer modellens muligheder. Den kan være opdelt i mindre moduler, der hver især udfører en del af opgaven. Det kræves en form for problembeskrivelse, der kan danne input til beregningerne. En eller flere løsningsalgoritmer skal være implementeret, og der skal være mulighed for at aflæse resultaterne af beregningerne på en eller anden måde. *Dialogmodulet* giver mulighed for anvendelse af grafisk repræsentation af data og resultater. Dialogmodulet kan således være knyttet direkte til enhver af modulerne i modelbasen og give visuel forståelse for problem og analyseresultater. Et *brugerinterface* er bygget på til at formidle og oversætte den mere computerorienterede information til et sprog fyldt med almindelig sproglig information. Det er denne del af modellen som præsenterer modellen udadtil ved hjælp af menuer, spørgsmål, mulige valg og hjælpefaciliteter.



Figur 2.1 Oversigt over moduler i multikriteriebeslutningsstøttesystemer

For at fungere er det naturligvis nødvendigt med input af information af brugeren (her refereret til beslutningstagen, som gerne vil anvende resultatet af beregningerne). Dette input vil hovedsageligt være knyttet til forskellige moduler i modelbasen. Som minimum skal brugeren af multikriteriebeslutningsstøttesystemer være inddraget i at specificere problemet, så der skal gives de nødvendige detaljer til at problemløsningsalgoritmen kan starte (alternativer skal defineres, der skal anføres indekxsværdier af faktorer og alternativer, kriterier skal defineres og ofte vægtes, en prioritering af faktorerne skal ofte indgå og så videre). På grund af denne minimums-brugerinvolvering i problemspecificering og løsning kan man sige, at modellen støtter beslutningstagen.

2.2 Eksempler

Til konkretisering af de mere overordnede betragtninger er her udvalgt tre eksempler på multikriteriebeslutningsstøttesystemer; ELECTRE, HIPRE3+ og DEFINITE. Der er tre grunde til, at netop disse modeller præsenteres her. For det første er der blevet lagt vægt på, at modellerne har fået en vis omtale i litteratur og helst i litteratur, der har været rettet mod beskrivelse af energiproblemstillinger. For det andet har det været et krav, at forfatteren har været i stand til at fysisk afprøve mindst en demonstrationsversion af modellen og helst den hele model. For det tredje har det været et ønskeligt krav, at modellerne repræsenterer forskellige multikriteriemetoder (og helst principper), så man herved kan få overblik over de eventuelle forskelle, det kan give. En kort oversigt over modellerne kan ses i tabel 2.1.

Tabel 2.1 Oversigt over multikriteriestøttesystemer, der anvendes til illustration.

| Multikriterie Beslutningsstøtte System | Bemærkning |
|--|---|
| ELECTRE | Bygger på udskilningsprincippet. Har indbygget ELECTRE III og ELECTRE IV som løsningsmetoder. Fuld model har været tilgængelig |
| HIPRE3+ | Bygger på den Analytiske Hierarkiske Proces. Indeholder denne proces samt den såkaldte SMART metode. Demonstrations model har været tilgængelig |
| DEFINITE | Bygger på Værdi og Nytteteori principperne. Indeholder en lang række metoder; Vægtet summering, ELECTRE II, Regime, Forventet værdi metoden (Expected Value), Evamix, samt cost-benefit og cost-effectiveness metoderne. Demonstrations model har været tilgængelig |

ELECTRE har været tilgængelig i fuld version. Præsentationen af HIPRE3+ og DEFINITE vil blive baseret på demonstrationsversioner af de fulde modeller. Hver især er de baserede på forskellige løsningsprincipper og metoder, så udskilning, den analytiske hierarkiske proces, og værdi- og nytteteoriprincipper er dækkede. Der eksisterer mange andre modeller, som kan kvalificere som multikriteriebeslutningsstøttesystemer; EXPERT CHOICE (Forman, Decision Support Software, Inc.), MACBETH (Bana e Costa and Vansnick, 1994), VIG (Korhonen and Laakso,

1986) er andre eksempler. I den efterfølgende præsentation lægges der mest vægt på modelbasen; hvad den kan, hvordan gennemsigtigheden af modellen er, og på den umiddelbare opfattelse en bruger vil få af modellerne. Derudover er der specielt lagt vægt på at vurdere de eventuelle muligheder modelbasen giver med hensyn til at undersøge usikkerhedsaspekter.

2.2.1 ELECTRE

ELECTRE modellen har til formål at rangordne en række alternativer givet specifikke kriterier. Løsningsprincippet, der anvendes, er udskilningsprincippet. ELECTRE indeholder 2 metoder; ELECTRE III og IV. Modellen (version 3.1) er udviklet i 1992-94 af Lamsade, University Paris-Dauphine, og er programmeret af Institute of Computing Science of Pozan i Polen. Modellen er Windowsbaseret og indeholder således menuer, vinduer, og 'knapper', som vil være velkendte for enhver Windows-bruger. Der er anvendt farver i stor udstrækning for at synliggøre muligheder og resultater. Programmet kan køre på en 386 pc'er og behøver ca. 700 Kbytes harddisk plads. Hjælpefaciliteter findes i vid udstrækning - igen bygget på Windowsprincipper. Hjælpefaciliteterne retter sig dels mod en almindelig bruger og dels mod den mere tekniske ekspert. Der er en del forklaringer, der er baseret på et forhåndskendskab til teorien bag udskilningsprincippet.

ELECTRE fungerer på den måde, at man specificerer 'projekter' (opgaver, som i praksis definerer et problem). Hvert projekt beskrives ved:

- en række af alternativer (navngivne)
- kriterier hvormed alternativerne skal vurderes (navngivne)
- kriterievægte og beskrivelser i form af hvorvidt de enkelte kriterier ønskes minimeret eller maksimeret
- indeks værdier (kaldes 'performances') der kvantitativt vurderer, hvorledes hvert enkelte alternativ vurderes (i målelig form) for hver faktor eller kriterium.

Man kan vælge at basere beregninger på ELECTRE III, ELECTRE IV, en matrix til måling for graden af troværdighed, (matrix of degrees of credibility), eller både ELECTRE III og IV (det vil sige, at man først bruger den ene metode og dernæst den anden til sammenligning af resultatet).

Forskellen på metoderne ligger i udskilningsrelationerne, der anvendes samt i den viden der er tilgængelig om det pågældende problem (der findes ikke én udskilningsrelation, der kan betegnes som den rigtige, men en række relationer, som hver især har specifikke matematiske egenskaber). *ELECTRE III* anvender et sæt af vægte til at aggregere præferencerne, så hvert kriterie kan udtrykkes ved en en 'fuzzy' koncentreret udskilningsrelation ('fuzzy' henviser her til at den grundlæggende basis fra 'fuzzy sæt' teorien bruges se for eksempel Stewart, 1992). Vægtene aggregeres ved at specificere nogle begrænsningskoefficienter ('thresholds') (der indgår i et funktionsudtryk), der beskriver hvorledes præferencerne ændres eller er indifferente overfor forskellige løsningsmuligheder. *ELECTRE IV* anvender op til 5 udskilningsrelationer (antal og type kan vælges af brugeren). Denne metode anvendes såfremt det ikke er muligt at kvantitativt specificere vægte for kriterierne. *Matrix for*

graden af troværdighed kan findes for alle projekter. Denne matrix viser, hvorledes brugerens præferencer er overfor alternativerne parvis to og to.

Resultater af beregningerne vises i form af grafer (viser rangordenen af alternativer), konkordans-, troværdigheds- og ranking-matricer.

Vurdering af ELECTRE. Overordnet set er rammerne for modellen gode, men det kan være vanskeligt at få overblik over, hvad de forskellige begreber og modelparametre betyder. Der er lagt op til, at 'brugeren' af modellen kender teorien bag udskilningsprincippet og har erfaring i at anvende det. Der er på forhånd indlagt 'default' værdier for parametre, der knytter sig decideret til udskilningsberegningerne, men hvis man ikke kender deres dybere betydning er det umuligt at vide med sikkerhed, om de præcist afspejler det problem, man ønskede løst.

Modellen giver ikke umiddelbart mulighed for at undersøge usikkerhed/robusthed ved beregningerne. Den eneste måde at undersøge nogle beregninger på er ved manuelt at give modellen nye input og se, hvorledes resultaterne ændres. Beregningerne i sig selv tager mindre end et minut, så det burde ikke være en egentlig hindring. På den anden side, skal man være meget interesseret i at arbejde sig frem til nogle ændringer, som man selv skal fortolke og som ikke giver nogen form for indsigt i, hvor sandsynlige de forskellige resultater er.

2.2.2 HIPRE 3+

Hierarchical PReference analysis model eller HIPRE3+ er færdig konstrueret i 1993 på Systems Analysis Laboratory, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland. Modellen er et beslutningsstøttesystem, der baseres på principperne fra den analytiske hierarkiske proces. Modellen sigter mod at kunne anvendes til beskrivelse, analyse og løsning af multikriterie problemer, der kan struktureres efter hierarkiske principper. Den har været/er anvendt i flere institutioner i Finland, bl.a. National Board of Waters and the Environment, (Hämäläinen, 1992).

HIPRE3+ er en model baseret på en regnearks lignende ramme. Mus eller tastatur kan anvendes til at markere og vælge punkter og faciliteter i modellen og til at specificere model og parametre for beregningerne. Farver er anvendt til at vise modelrammer, model og output. Grafik benyttes til både modelbeskrivelse og specifikation af beregningerne samt resultater og yderligere analyser. Idet demonstrations-modellen ikke indeholder nogle hjælpefunktioner, kan det ikke vurderes, hvorvidt disse er tekniske eller mere brugerorienterede.

Der kan bygges forskellige modeller (opgaver, svarer til projekter i ELECTRE) i HIPRE, som så ligger til grund for beregningerne. For at bygge og analysere en model, skal man gøre følgende:

- alternativer defineres i form af en hierarkisk struktur. De enkelte elementer i strukturen navngives og placeres i regnearks lignende celler. Senere kan man forbinde de enkelte elementer (med linier), således at man herved definerer de forskellige alternativer og den hierarkiske struktur.

- hvert element prioriteres nu. Der kan anvendes en kvantitativ vurdering eller en parvis sammenligning, hvor en eller anden form for verbal vurdering angives (og senere oversættes til kvantitative vægte, der anvendes i beregningerne). Den sidstnævnte vurderingsskala kan sættes som ønsket, eller man kan anvende den i AHP metoden almindeligt definerede. Vurderingen kan angives ved afkrydsning af skalaen eller ved at grafisk placere forholdet (prioriteringen) mellem de pågældende elementer i et histogram uden derved at angive kvantitativt, hvad dette forhold er.
- analysen viser den sammensatte, samlede prioritering af de forskellige alternativer i forhold til hinanden. Dette vises grafisk, hvormed forskellen mellem alternativernes prioritet (og dermed rangordenen af alternativene) synliggøres. Den sammensatte prioritering kan ses for alle element alternativer, der er anset for at danne alternativene i modellen. Ligeledes kan man se, hvorledes alternativene afhænger af sensitiviteten af vægtene på de forskellige intermediære elementer i hierarkiet. Der vises et grafisk output af sensitivitetsafhængigheden. Til slut vises et prioritetsplan, hvor alternativene er vist som funktion af deres afhængighed af kriterievægtene. Her kan man se hvilket alternativt resultat, der fremkommer, såfremt man ændrer på sine kriterievægte.

Vurdering af HIPRE3+. Umiddelbart er modellen ligefrem at bruge. Man kan komme langt med lidt viden om regneark samt ved bare at prøve sig frem. På den anden side er der et behov for en hjælpefunktion, der kan forklare i ord, hvad de forskellige prioriteter og resultater viser og gør godt for. Demonstrationsversionen viser ikke, hvorvidt den fulde model er bedre på dette punkt. Modellen lægger op til, at problemet skal struktureres og vurderes ved hjælp af den/de person/personer, der ønsker problemet løst, MEN at det er en ekspert, der håndterer modellen og forklarer, hvad der foregår. Det kræver en smule indsigt i den hierarkiske analytiske proces' principper.

Det vurderes som en positiv ting, at man kan gå et grafisk overblik over følsomheden af resultaterne (der kan vises en følsomhedskurve). Desværre skal man holde hovedet koldt for helt at forstå, hvad det er graferne viser. Fortolkning af disse resultater er ikke helt umiddelbar, hvorfor der igen behøves en ekspert til at forklare betydningen af resultaterne. Det betyder dog, at nogle usikkerhedsaspekter kan undersøges, og at der kommer en lille fokus på denne del problemløsningen.

2.2.3 DEFINITE

DEFINITE står for *DEcisions on a FINITE set of alternatives*. Modellen bygger på værdi- og nytteteoriprincipper. Den er udviklet på Free Universitet, Amsterdam, Holland og bliver kommercielt solgt sammen med en bog, der omhandler multikriterie-metoders anvendelse i miljømæssige problemstillinger (Janssen, 1992). DEFINITE har været anvendt i adskillige virkelige problemstillinger. Heraf kan nævnes: Udvælgelse af lokalitet til bygning af boliger i Nord holland, multikriterieanalyse af skov og tømmer i Australien, evaluering af placeringsalternativer for en ny godstogbane mellem havnen i Amsterdam og Tyskland, valg af alternativer for vandudvinding i Utrecht regionen (referencerne er baseret på personlig kommunikation med Janssen).

Rent teknisk kan modellen bruges på en MS-DOS kompatibel pc'er med 3.5", 720 diskette drev og 640 kb RAM hukommelse. Modellen er opbygget i moduler, hvor informationen, der skal til at beskrive problemstillingen, og analysen angives i et regnearks lignende miljø. Der er anvendt sort/hvide farver til modellen. Problem-beskrivelse, resultater af beregninger og andre analyser kan vises på grafisk form. Grafikken er dog simpel (sammenlignet med for eksempel ELECTRE og HIPRE). Til gengæld indeholder modellen hjælpefaciliteter på alle niveauer. Hjælpen består dels af at angive, hvad modelbrugeren skal gøre for at komme videre og kunne benytte sig af de forskellige muligheder, modellen indeholder, og dels i at forklare, hvad de forskellige muligheder er baseret på teoretisk. Teorien er angivet i relativt let forståelige vendinger, dog skal man for at få fuldt udbytte af beskrivelserne, have et vist indblik i værdi- og nytteteoriprincipperne.

Modelbasen i DEFINITE er opbygget i selvstændige moduler til beskrivelse af problemet, specificering af den metode, man ønsker at anvende til løsning, usikkerhedsanalyse, samt en rapportering af de resultater, der er opnået under den enkelte session. Problemer beskrives og løses i scenarier, der senere kan tages frem igen og modificeres efter ønske.

Selve modellen kan betegnes som et værktøjssæt af metoder, der kan anvendes til næsten enhver type multikriterieproblem og/eller miljøproblem, der skal foretages en politisk beslutning omkring. Det vil sige, at modellen har indbygget en metode for næsten enhver type af alternativer, et problem kan karakteriseres ved (alternativerne kan være beskrevet mere eller mindre eksplicitte). Basis for alle metoderne er, at problemet er opskrevet i såkaldte effektstabeller, der indikerer indekxsværdierne af de forskellige alternativer udfor de kriterier, man ønsker at anvende til beregningerne. DEFINITE har indbygget følgende problemløsningsmetoder:

- *Vægtet summering* (weighted summation på engelsk), hvor alle effektscorer (indekxsværdier som den kaldes i den terminologi, der blev indført i del 1 af rapporten) standardiseres og anvendes til at beregne en fuldstændig score for hvert alternativ. Denne fuldstændige score findes ved at multiplicere hver effektscore med den vægt, der er knyttet til, hvorefter man opsummerer de vægtede scorer af alle effekter. Der kræves en kvantitativ angivelse af scorer og vægte.
- *ELECTRE II*, som egentlig er i familie med de øvrige ELECTRE metoder, er baseret på udskilningsprincippet. Ved ELECTRE II findes en rangering af alternativer ved en parvis sammenligning af alternativer. Graden for hvor meget et alternativ er bedre end et andet måles såvel som graden for, hvor meget alternativet er dårligere end de øvrige. Der kræves oplysning om de relative vægte af hver effekt. Scorer skal kunne angives på en kvantitativ skala.
- *Regime* anvender en tilfældighedsgenerator for hvert par af alternativer til at estimere sandsynligheden for at et alternativ bliver vurderet til at være bedre end et andet. Regime kan være god at anvende, såfremt man har et problem, hvor effekter beskrives både på kvantitative og kvalitative skalaer. Effekterne skal være ordnet i en prioriteret rækkefølge (mest vigtig - mindst vigtig).

- *Forventet værdi metoden* (expected value på engelsk) bygger på en standardisering af effektscore, som ved den vægtede summerings metode. Forskellen er, at den forventede værdi metode finder en fuldstændig score for hvert alternativ ved først at multiplicere hver standardiseret effektscore med dens tilknyttede vægt fulgt af en summering af vægt score af alle effekter. Scorer kan være målt både kvalitativt og kvantitativt. Effekter skal være ordnet i prioriteret rækkefølge.
- *Evamix metoden* genererer separate dominans tabeller for effekter målt på kvalitativ og kvantitativ skala. Begge tabeller kombineres senere til en samlet dominans tabel. Scorer kan altså være målt på både kvalitativ og kvantitativ skala. Der behøves ligeledes information om vægtene på de enkelte effekter.

Desuden har modellen også indlagt cost-benefit og cost-effectiveness analyser, såfremt alle effekter kan oversættes til samme enhed (monetære enheder).

Der er indlagt et separat modul til undersøgelse og angivelse af usikkerheder. Følgende usikkerheder kan undersøges:

- *usikkerhed ved anvendelse af metoden.* Her kan man vælge at undersøge hvordan resultatet af beregningerne ville være, såfremt man anvender en anden af de tilgængelige multikriteriemetoder. Resultatet fremstår i form af en liniegraf eller et histogram, der viser resultaterne (rangeringen af alternativerne) af at bruge de forskellige metoder.
- *usikkerhed knyttet til angivelse af effekterne.* Herved kan man vurdere sensitiviteten af rangordenen af alternativer overfor scoren i effekterne (indeksværdier). Man vurderer dette ved indsættelse af en usikkerhedsprocent for hver effekt. Denne usikkerhedsprocent indikerer den maksimale procent, man forventer, at værdierne kan afvige fra de allerede angivne. Som resultat fås en sandsynlighedstabel. Et element i tabellen svarer til sandsynligheden for at det pågældende alternativ opretholder en bestemt plads i rangeringen givet den udtrykte usikkerhedsprocent på effektsscorene.
- *usikkerhed knyttet til angivelse af vægtene.* Man kan her vurdere sensitiviteten af rangordenen af alternativerne overfor vurderingen af vægtene. Som lige ovenfor anføres her en usikkerhedsprocent for hver vægt, der viser den maksimale værdi, man mener vægten kan afvige fra den allerede angivne. Resultatet er igen en sandsynlighedstabel, der viser sandsynligheden for, at et alternativ opretholder sin plads i rangordenen givet den udtrykte usikkerhed på vægtsscorene.
- *tilknytning af interval på vægtene.* Denne mulighed bestemmer et interval indenfor hvilket rangordenen af 2 alternativer er ufølsom overfor ændringer i vægtene. Ligeledes udregnes den vægt for hvilken, rækkefølgen af de 2 alternativer skifter.
- *tilknytning af interval på effekter.* Som ovenfor bestemmes her et interval for hvilket rangordenen af 2 alternativer er ufølsom overfor ændringer i effektsscoren.

- *problemanalyse*. Her anføres en samlet vurdering af alle resultater, der er udført på samme problem. Resultatet er en foreløbig, og 'forsigtig' angivelse af hvilket alternativ, man ud fra analysen skulle vælge.

Desuden kan modellen udregne usikkerheder ved cost-benefit analyse, tilknytte intervaller til denne analyse, samt undersøge effekten af prisintervaller på disse resultater.

Vurdering af DEFINITE. Der er lagt stor vægt på, at modellen skal kunne anvendes i en beslutningsproces. Det er lykkedes meget godt med den relativt nemt overskuelige modelopbygning, hjælpefaciliteterne, og den beslutningsorienterede måde man ledes gennem modellen på. Modellen er overskuelig, og der er sjældent vanskeligheder med at finde ud af, hvad man nu skal gøre for at komme videre. Rent kosmetisk ville det pynte med et mere tiltrækkende interface. Men det er en personlig vurdering om, man vil sætte ressourcer ind på at gøre modellen 'farverig'. Dog skal det nævnes, at specielt anvendelsen af farver i forbindelse med grafikken ville øge den umiddelbare forståelse af resultaterne. Hjælpefunktionerne er gode. Det er forfatterens vurdering, at den hjælp, der er at finde, vil tilfredsstille de fleste brugere - eksperter som ikke eksperter. Forklaringen giver i en indsigt i modellens bagved liggende teori på en måde, så man føler, at man sidder med mere end en 'black-box'.

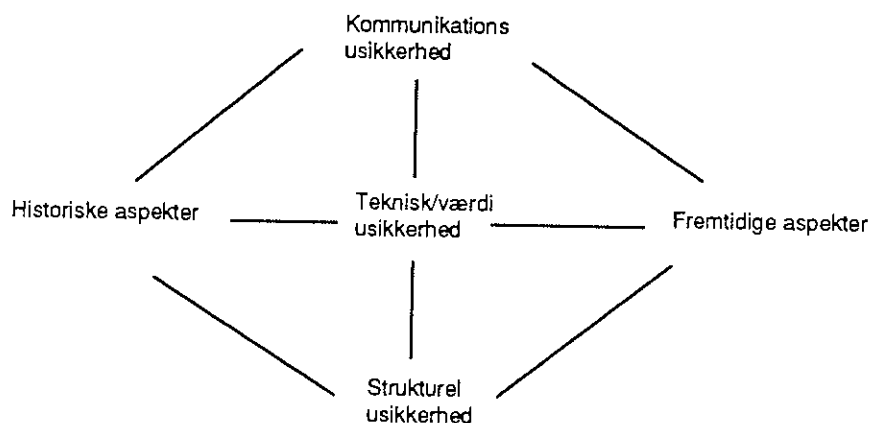
Det kan umiddelbart være lidt forvirrende, at man kan vælge så mange forskellige metoder. For at vælge en metode er man nødt til at kende lidt til multikriteriemetoder og den baggrund og forudsætninger, som ligger bag ved de enkelte metoder. Ellers kan der være risiko for at en bruger vil anvende en cost-benefit analyse, på trods af de antagelser og afbøjninger, der i så tilfælde må gøres. Det vurderes dog, at modellen sagtens kan anvendes alene af en eller flere beslutningstagere. Måske vil der i valget af metode være brug for en eller form for ekspertviden, men modellen kræver ikke i sig selv, at der er en ekspert, som sidder og håndterer modellen.

Usikkerhed dækkes på en meget god måde. Der er lagt op til, at usikkerhedsundersøgelser er en del af den totale analyse. Den enkelte opdeling i punkter, der kan være årsag til at resultaterne ændres, tvinger brugeren til at revurdere og tænke på, hvor godt kendskabet til vægte, effektscore, og selve metoden man anvender, egentlig er. Det er uvælgelige faktorer, som kan ændre sig med tiden, og indsigten i problemstillingen. De faktorer, der indgår i analysen, synes at være relevante områder at revurdere med hensyn til usikkerhed. I al fald er det ofte netop vurdering af vægte og effekter (indeksværdier), der sættes spørgsmål overfor, såfremt man ikke har været involveret i selve beskrivelsen og beregningerne.

3 Usikkerhedsaspekter

Usikkerhedsbegrebet repræsenterer alt det man ikke har nogen præcis viden om (Sørensen, 1994, Rowe, 1994). Nogen usikkerhed kan mindskes eller fjernes ved, at man finder/opnår den nødvendige viden. I andre tilfælde eksisterer en sådan nødvendig viden ikke. Når man taler om usikkerhed i forbindelse med problemløsning, ligger

fokus ofte på de målelige størrelser, der anvendes i problemspecificeringen. Denne fokus er dog kun en lille del af den totale usikkerhed, der er knyttet til problemløsning. Dette kan illustreres ved nedenstående figur 3.1.



Figur 3.1 Oversigt over usikkerhedstyper knyttet til problemløsning.

Den usikkerhed, der er fokus på er ofte den såkaldte *tekniske/værdi usikkerhed*. Det er den usikkerhed, som er knyttet de parametre, man kan måle, estimere eller skønne på en eller anden måde. Det vil for eksempel være den usikkerhed, der er tilknyttet en indikatorværdi eller en prioritetsvægt på et kriterium, som man i virkeligheden aldrig kan måle, estimere eller skønne helt præcist.

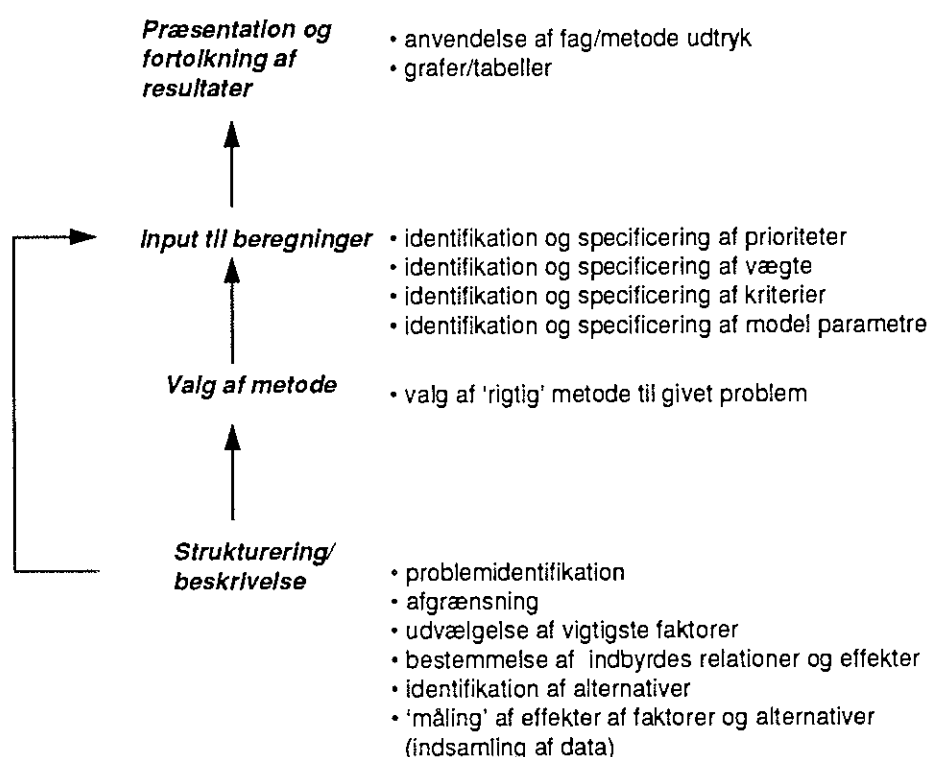
Den *strukturelle usikkerhed* opstår på grund af den måde, man strukturerer et problem på. Ved en strukturering (og efterfølgende problembeskrivelse) gør man nogle antagelser om virkeligheden, fravælger nogle dele, tager andre i betragtning og danner (forhåbentlig) herved en form for undersystem, der er operationelt, overskueligt og mindre komplekst end virkeligheden. Enhver strukturering (og beskrivelse) kan ikke blive andet end en tilnærmelse af virkeligheden. Denne tilnærmelse kan gøres mere eller mindre godt, og kunsten er at finde den tilstrækkelige afvigelse fra virkeligheden og dog alligevel få et operationelt system ud af det. Det er denne afvigelse, der beskrives ved strukturel usikkerhed.

Kommunikationsusikkerhed er den usikkerhed, som kommer af, at mennesker anvender upræcise begreber og vendinger i samtale (det kan være på skrift eller i tale). Kommunikationsusikkerhed kan også være knyttet til præsentation af resultater af analyser, der vises i tabeller, grafer, skrift eller tale. Det drejer sig om alle de kommunikationsmåder, der findes mennesker og mennesker imellem. Denne type af usikkerhed kan nærmest sammenlignes med forvirring, misforståelser, eller uklarheder, der kan opstå i sådanne situationer.

Alle disse typer af usikkerhed eksisterer både, når der er tale om problemer, der involverer *historiske aspekter* og *fremtidige aspekter*. Usikkerheden er normalt størst, når man taler om fremtidige aspekter. De historiske aspekter kendes til en vis grad og vil derfor have en mindre usikkerhed tilknyttet. De forskellige typer af usikkerhed

eksisterer hele tiden. Fra situation til situation er der blot forskel på hvilken type, der dominerer og dermed hvilken type, som har mest indflydelse.

Tager man fat i multikriterieproblemer og de metoder, man har til at løse disse, så kan det ses, at alle de ovennævnte usikkerhedstyper kan være tilstede. Beslutningsstøttesystemer søger at dække alle områder af problemløsning; problemidentifikation og strukturering, angivelse af analyse og resultater, samt præsentation for andre ikke involverede i analysen. Tidslige aspekter er naturligvis tilstede enten som historiske/nutidige eller som fremtidige data. Det er derfor af relevans at undersøge hvilke punkter, der kan være årsag til usikkerheder i forbindelse med løsning af multikriterieproblemer. Figur 3.2 viser en oversigt over nogle af de centrale punkter, der er blevet identificeret i nærværende projekt.



Figur 3.2 Oversigt over centrale usikkerheder ved løsning af multikriteriemetoder.

Der er taget udgangspunkt i den grundlæggende opdeling af problemløsningsprocessen. Der startes nederst i processen med strukturering/beskrivelse. Denne del af processen er central for, hvorledes problemet løses og dermed også for en god del af usikkerheder, der introduceres. Ved selve identifikationen af problemet gøres allerede de første antagelser om, hvad det er for et system, der er tale om, og hvorledes det er afgrænset fra andre systemer. Problemidentifikation lægger grunden til hele analysen. Ved selve afgrænsningen og udvælgelsen af de vigtigste faktorer til beskrivelse af problemet ligger de egentlige fravalg fra virkelighedens systemer. Alle andre trin i processen gøres på grundlag af disse overvejelser, valg og fravalg. Undersøgelse og bestemmelse af de indbyrdes relationer mellem de faktorer, man anser for at være bestemmende for problemet, samt vurdering af effekterne af disse på problemet hører

til de mere beskrivende dele af analysen. Men heri ligger ligeledes nogle fravalg og vurderinger, der kan tilknytte strukturel usikkerhed. Man er nødt til på et relativt tidligt tidspunkt i analysen at udvælge det detaljeringsniveau, man ønsker at arbejde med. Det afhænger naturligt af problemidentifikationen og de øvrige faktorer. Der er ingen mulighed for, at man kan medtage alle relationer - og beskrive dem på en helt fyldestgørende måde. For at danne et operationelt system, er man nødsaget til at foretage nogle simplificeringer. Udfra problemet og de begrænsninger man har foretaget, skal man så identificere og definere nogle alternativer for strategier. Det er antaget, at disse alternativer er knyttet til en situation, hvor man ønsker at bestemme en 'bedste' strategi udfra en række af mulige strategier. Strategien er orienteret mod udviklingen af problemet i fremtiden og kan således betegnes som et scenarie (se del 1 for yderligere diskussion om dette). Ved enhver konstruktion af scenarier, vil der være en række antagelser og formodninger involveret. Som slut på denne fase i analysen, skal man indsamle data til beskrivelse af de fornødne effekter og alternativer. Data kan som bekendt være omgæret med mere eller mindre usikkerhed.

Valget af metoden til problemløsning er næste punkt. Som det allerede er set i del 2, er der stor forskel på de forskellige multikriteriemetoder - og det kan være svært at få et overblik over hvilken, der er bedst for den pågældende bruger. Men det skal pointeres at valget af metoden er vigtig for problemets løsning. Ved anvendelse af en metode kan man ikke undgå at introducere nogle antagelser om problemet, der er relateret til forudsætningerne for anvendelse af metoden. Man bør derfor vælge en metode, hvor man minimerer de yderligere antagelser, man skal foretage. Problemets løsning kan være yderst afhængig af den valgte metode.

Input til beregningerne hænger tæt sammen med både kommunikations- og teknisk/måle usikkerhed. For det første skal der specificeres, hvilke prioriteter man ønsker for analysen, vægte, kriterier og eventuelle specielle modelparametre er andre. Ved denne specificering skal man antage, at man forstår, hvad det er brugeren siger samtidig med, at man skal formode, at man selv udtrykker sig klart, således at denne specifikation udtrykker det samme overfor hver af parterne, som er involveret i analysen. Selve kvantificeringen eller den kvalitative vurdering kan være yderst vanskelig og omgæret med stor usikkerhed. Det kan være meget svært at udtrykke disse elementer på en måde, så det kan bruges i analysen. Desuden skal man være opmærksom på, at disse specificeringer kan ændre sig med tiden og med de personer, som er involveret i analysen.

Præsentationen af analyseresultater er sidste punkt. Såfremt der anvendes fagudtryk eller metodespecifikke udtryk er der 'fare' for en misforståelse. Grafer, tabeller og andre resultater kan altid misforstås, såfremt der ikke er nok forklaring.

Det skal bemærkes, at ovenstående bemærkninger i princippet gælder for enhver problemløsningssituation.

Næste spørgsmål er så, hvorledes de nuværende multikriteriemetoder tager højde for de usikkerheder, der kan influere på analyse og løsninger.

4 Håndtering af centrale usikkerheder

Som det kan ses af foregående afsnit er håndtering af usikkerheden ved problemløsning og anvendelse af multikriteriemetoder ikke en simpel opgave. Der er ikke kun et punkt, hvor man skal/kan sætte ind, men adskillige som kan have lige stor betydning for den totale usikkerhed associeret med resultaterne. Umiddelbart ville det være oplagt at forsøge at ændre på multikriteriemetoderne (teori/algoritmer), således at denne del af processen kunne synliggøre usikkerheden bedre. Men såfremt man tager resultaterne af sammenligningen af multikriteriemetoderne fra del 2 i betragtning, synes det ikke at være en god idé. Hvis man ser på de multikriteriemetoder, der har inkluderet usikkerhedsbetragtninger (se figur 5.1, del 2) vinder metoden ikke på de andre relevante og vigtige områder som 'gennemsigtighed' og 'brugbarhed' (begreberne henviser til metodeudvælgelseskriterierne anvendt i del 2). Ændringer af disse algoritmer vil højst sandsynligt gøre beregningerne mere komplicerede og vil uden tvivl forvirre en bruger mere. Desuden skal det nævnes, at de metoder, med allerede inkluderede usikkerhedsestimater bevirker, at brugeren af metoden skal kunne vurdere usikkerheden af de pågældende størrelser, *inden* man har beregnet og måske gennemtænkt problemstillingen. Ved dette risikerer man at introducere usikkerhed om usikkerhedsestimaterne, så man i virkeligheden bliver mindre oplyst om resultatet af analysen end, hvis man ikke havde inkluderet usikkerhedsovervejelserne. Der kan derfor sættes spørgsmålstejn overfor denne fremgangsmåde.

Som forfatteren ser det, kan usikkerheden kun mindskes væsentligt, såfremt der tages hensyn og tiltag på alle niveauer i processen. Desuden vurderes idéen bag multikriteriebeslutningsstøttesystemer at være god. Uanset om man kan lide det eller ej, så er matematiske modeller en god ramme for strukturering og løsning af problemer, samtidig med at de kan præsentere løsningsmetoder på en forståelig og anvendelig måde. Og når løsningsmetoden er en eller flere multikriterie-metoder kan det synes nødvendigt med en modelramme. Ydermere kan modellen med en hensigtsmæssig opbygning være med til at synliggøre og mindske usikkerheden ved processen.

Med det formål at mindske og synliggøre usikkerheden knyttet til multikriteriemetoder og de resultater, der fås heraf, foreslås det at udvikle en model, der bygger på multikriteriebeslutningsstøttesystemidéen, men hvor der lægges vægt på de centrale punkter, udledt i afsnit 3.

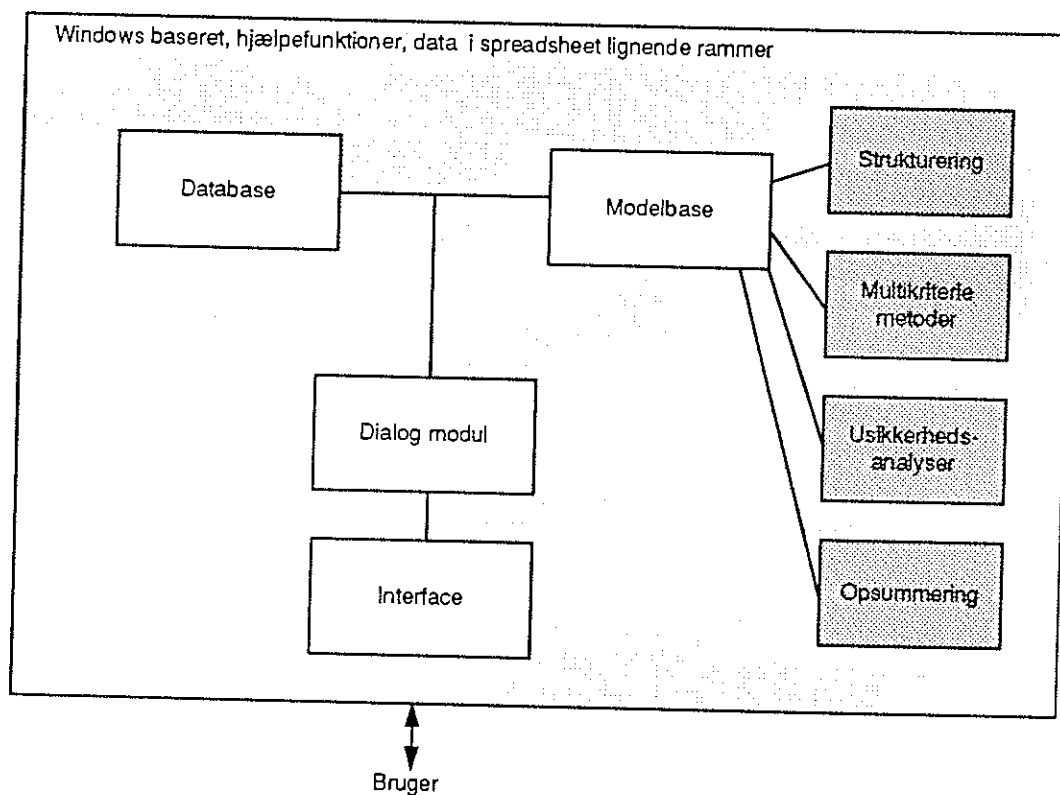
4.1 Forslag til modelramme

Den generelle opbygning af beslutningsstøttesystemet som illustreret i figur 3.1 forudsættes. Desuden forudsættes det, at systemet skal kunne anvendes overfor problemstillinger, der ofte er komplekse og af multikriterietypen og som kræver fokus på usikkerhed. Energimæssige problemstillinger er ofte af denne type (se del 1).

Figur 4.1 viser den foreslåede modelramme. Der er lagt vægt på, at modellen er fleksibel, så det derved bliver nemt at udføre en form for iterativ problemløsnings-

proces. Ligeledes er der lagt vægt på, at modellen er inddelt på en måde, så man herved styres gennem brugen af modellen og samtidig frem mod en løsning til problemet. Det er gjort ved de separate moduler knyttet til modelbasen.

Som styresystem kan anvendes en Windowsbaseret ramme, som ELECTRE modellen er bygget på. Den synes umiddelbart at være brugervenlig på den måde, at man kan have flere vinduer (og dermed moduler) åbne på en gang, så det bliver nemmere at gå fra et modul i modelbasen til et andet. Samtidig med at det bliver nemmere hele tiden at overskue modellens muligheder med menubjælken (se figur 4.2 for illustration). Det iterative aspekt anses for at være væsentligt, idet man sjældent på forhånd kan overskue hele problemet fra starten af. DEFINITE har en modelbase opbygget i moduler nærmest som dem, der er foreslåede i figur 4.1. Men den måde hvorpå man skal gå ud af et modul for at indlæse et andet synes langsommelig og bevirker måske, at man ikke 'gider' gå tilbage til moduler, man allerede har været igennem. Hermed opnås muligvis en dårligere beskrivelse af problemet og dermed løsninger. Vinduer (repræsenterende moduler), der ikke behøver at blive lukket for lige at gå ind i et andet modul er at foretrække.

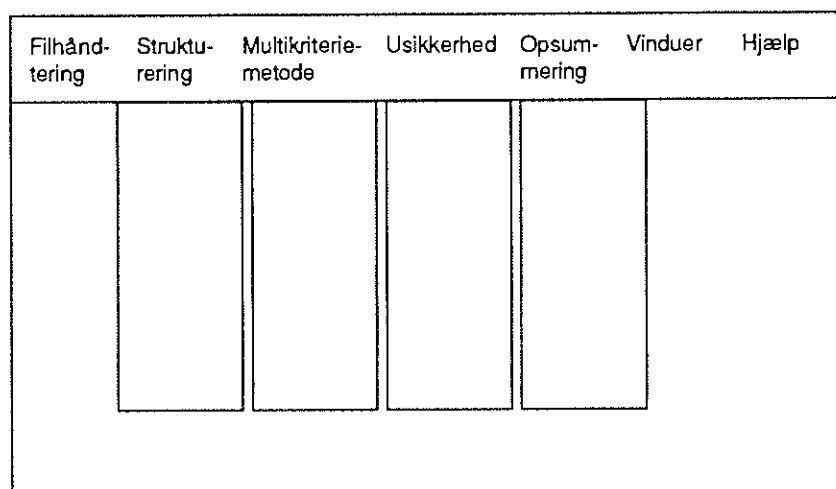


Figur 4.1 Modelramme for multikriteriebeslutningsstøttesystem med fokus på usikkerhed.

Selve modellen skal være opbygget som en regnearksmodel. Mange anvender allerede regneark på et eller andet niveau, så anvendelsen af dette formodentlig ikke vil være en begrænsning i brugen af modellen. Ved anvendelsen af regneark vil det ligeledes være nemt at indføre tal, slette, rette og udføre alle de former for datahåndtering, der er nødvendige.

Dialogsystemet skal være knyttet til hvert regneark. Det er forfatterens mening at anvendelsen af farver og grafik øger forståelsen og overblikket over data og resultater. Netop manglen på farver gør at resultaterne er svære at skelne ved anvendelsen af DEFINITE modellen. Anvendelse af grafik til selve beskrivelses- og specificeringsaspekterne kan øge overblikket i disse faser, og det kan derfor være relevant at inkludere dette.

Figur 4.2 viser vinduesstrukturen i modellen. Øverst er menubjælken, der ved aktivering af de enkelte emner (klik med musen) får rækken af muligheder til at komme frem. Filhåndtering dækker over systemets database. Strukturering, multikriteriemetode, usikkerhed og opsummering angiver modelbasens enkelte moduler. Vinduer angiver de forskellige vinduer, der er åbne, og som der kan skiftes frit imellem. Hjælp er en hjælpefunktion, der kan aktiveres til enhver tid. Hjælpefunktionen skal være brugerorienteret, således at der kun angives tekniske/ teoretiske detaljer på et niveau, der er nødvendigt for at skelne mellem de forskellige valg i menuerne. For mere information skal der være knyttet litteraturreferencer til (drejer sig om multikriteriemetoderne, samt usikkerhedsanalyserne).



Figur 4.2 Oversigt over vinduesstrukturen i modellen

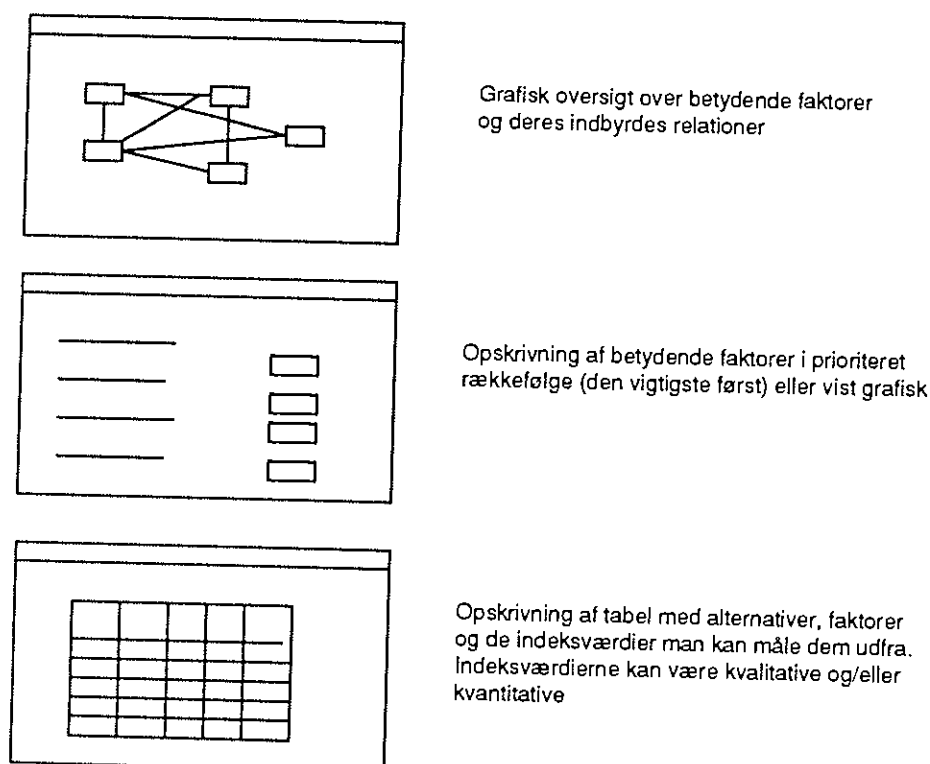
Modelbasen er som nævnt opbygget i moduler. Modulerne har til formål at beskrive, løse, analysere og præsentere resultaterne af analyse og løsninger. Det er meningen, at man skal følge modulerne en efter en, men at man selvfølgelig til ethvert tidspunkt kan returnere til et modul for at foretage ændringer. Der skal kommenteres på den overordnede struktur af og muligheder ved hvert modul. Det skal bemærkes, at det følgende kun er en skitse for modellen, hvorfor detaljer og samtlige muligheder ikke kan fremgå.

4.1.1 Struktureringsmodul

Formålet med dette modul er at identificere centrale faktorer for problemet og dets løsning. Desuden er det formålet at identificere og finde de oplysninger, der er nødvendige for at udføre multikriterieanalyse. Selve struktureringen må foretages af

brugeren selv. Modulet kan være opbygget på den måde, at man kan anvende det til at opsummere og konkludere på de ting, man finder ud af. Det vil sige, man skal kunne opskrive betydende faktorer og tegne relationer imellem, således at de vigtigste og mest betydende kan findes. Selve analyseprocessen må nødvendigvis foretages 'udenfor' modulet, så modulet mere eller mindre blot opsummerer og konkluderer på denne proces. Problemstrukturering kan være en større opgave alt efter problemets kompleksitet og usikkerheder tilknyttet. Nogle problemer vil være lige til at strukturere og sætte en liste op over de betydende faktorer. Andre vil behøve en længere analyse. Til det sidste kan det anbefales at anvende aspekter fra 'the strategic choice approach' (Friend, 1989).

Figur 4.3 viser et par vinduer fra strukturingsmodulet.

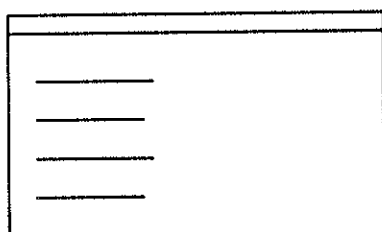


Figur 4.3 Oversigt over nogle af de muligheder, der er i strukturingsmodulet.

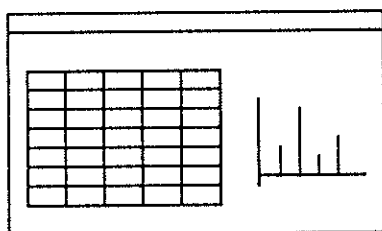
Øverst i figuren ses en grafisk oversigt over betydende faktorer og deres relationer. Den grafiske repræsentation skal hjælpe i struktureringen og til at få overblik. Denne mulighed kan være en del af 'the strategic choice approach'. Struktureringen skal føre til en opskrivning af de betydende faktorer, der skal medtages til løsning/ analyse. Faktorerne kan opstilles i prioriteret rækkefølge. Et mere konkret resultat af strukturingsmodulet ses ved nederste vindue i figur 4.3. Her opskives en tabel over de faktorer og alternativer, der skal vælges imellem. I tabellen angives indekssværdier i kvantitativ eller kvalitativ form. Tabellen skal anvendes som udgangspunkt for analysen.

4.1.2 Multikriteriemodulet

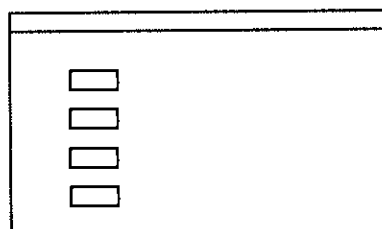
Formålet med multikriteriemodulet er at finde en rangordning af alternativterne, der skal vælges imellem. Figur 4.4 viser en oversigt over nogle af de muligheder, der findes i multikriteriemodulet.



Valg af analysemetode - lille forklaring til hver mulighed. Specifikation af nødvendig information for analysen foregår via på forhånd designede regneark, der viser, hvilken information der mangler



Eksempel: specificering af vægte for de forskellige kriterier foregår ved enten at eksplicit skrive dem i tabellen eller sætte højden i histogrammets søjler, således at man relativt får den ønskede forskel på vurderingen af kriterierne



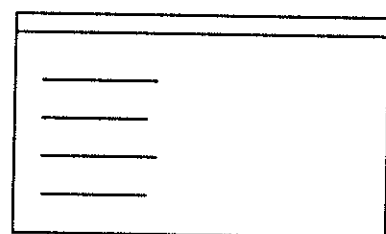
Anført rækkefølge som beregnet med den pågældende metode og den givne information. Såfremt, der er foretaget en afvejning i nogle kriterier, anføres dette.

Figur 4.4 Oversigt over nogle af de mulighederne i multikriteriemodulet.

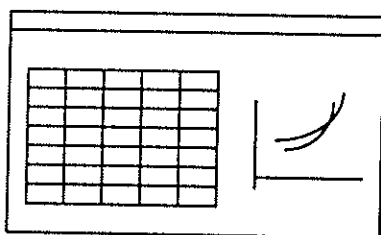
For at udføre nogle beregninger (der kan lede til en løsning) er det nødvendigt først at specificere, hvilken multikriteriemetode man vil bruge. Det er tanken, at man kan vælge en af 5-6 metoder. Som udgangspunkt skal metoderne anvendt i DEFINITE være tilgængelige, idet disse metoder er relativt nemme at forstå princippet bag og relativt nemme at specificere nødvendige data for. Desuden kræver disse metoder mindre computerprogrammering end andre metoder. Det er et krav, at beregningerne tager lidt tid (mindre end 2 minutter), da det ellers er sandsynligt at brugeren synes, det er for omstændigt at vente på. På forhånd designede vinduer skal vise, hvilken information brugeren skal give for, at den bestemte metode kan anvendes. Et eksempel herpå, er specificering af vægte knyttet til de forskellige kriterier. Disse skal kunne angives eksplicit eller ved simpelthen at sætte højden på de enkelte søjler i et histogram. Øges højden af en søjle, sænkes den tilsvarende i andre, såfremt vægtningen overskrider 1.0 (forudsætning bag mange multikriteriemetoder er, at vægtene summerer op til 1.0). Beregningerne foretages og resultatet kan ses i form af en figur, der viser rækkefølgen af alternativterne.

4.1.3 Usikkerhedsmodul

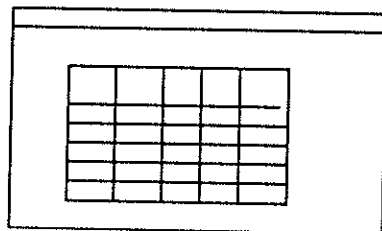
Formålet med usikkerhedsmodul er at kunne analysere og synliggøre resultaterne for centrale usikkerheder og robusthed. En oversigt over usikkerhedsmodul er vist i figur 4.5.



Valg af usikkerhedsanalyse - lille forklaring til hver mulighed. Specifikation af nødvendig information for analysen foregår via på forhånden designede regneark, der viser, hvilken information der mangler



Resultat af valgte analyse - tabelform samt grafisk



Opsummering af udførte analyser. Tabellen viser rangordenen af alternativer for hver type analyse, der er foretaget

Figur 4.5 Oversigt over nogle af mulighederne i usikkerhedsmodul.

For det første skal man vælge typen af usikkerhedsanalyse, man ønsker udført (her er ikke skelnet mellem usikkerhed og sensitivitet). Det tænkes, at man kan vælge mellem følgende muligheder:

- *usikkerhed mellem anvendte metoder.* Det kan her undersøges, om løsningen er robust overfor den valgte metode. Man kan her vælge at løse problemet med en anden metode alle andre parametre uændrede. Såfremt der skal specificeres yderligere information, vil der være en efterspørgsel på skærmen. Denne mulighed viser ikke så meget usikkerheden ved at vælge en metode frem for en anden men siger mere om robustheden af resultaterne overfor den valgte metode.
- *usikkerhed knyttet til valg af faktorer.* Der er to muligheder knyttet hertil. Idet der er lagt så meget vægt på struktureringen af problemet kan det være af relevans at undersøge, hvilken løsning, der fremkommer hvis man havde taget en anden faktor med som betydende faktor. Derfor kan man for det første vælge at erstatte en faktor med en anden eller udelukke en. Det betyder reelt set, at man skal foretage beregningerne forfra, men ved valg af denne mulighed vil man blive bedt om at specificere de nødvendige

oplysninger *givet* at anden information er uændret. Denne mulighed er mest relevant, hvis man har været i tvivl, om man skulle medtage en faktor, eller ekskludere en anden. En anden ting er den forhåndsprioritering, man har sat over faktorernes vigtighed. I virkeligheden vil denne sikkert ændre sig med tiden, og det er derfor relevant at undersøge, hvor robust resultatet er overfor en ændring i prioriteten.

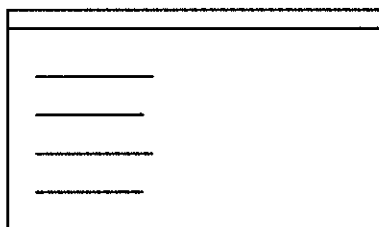
- *usikkerhed knyttet til valg af indeksværdier.* Det er sjældent, at indeksværdier for energiproblemstillinger kan anføres i relativt sikre værdier. Der vil ofte være stor usikkerhed knyttet til nogle af værdierne. Igen skal man kunne undersøge robustheden af resultaterne overfor ændringer i en eller flere parametre (man sætter dem selv), og man skal eventuelt kunne angive et interval indenfor, hvilket værdierne med en vis sandsynlighed ligger. Ved den første mulighed får man igen et robustheds udtryk, overfor variationer i indeksværdier. Den anden mulighed vil angive, den mest sandsynlige løsning givet intervallerne på indeksværdierne, samt vise, hvornår løsningen kan skifte. Denne mulighed bygger på idéen fra konvergensintervaller.
- *usikkerhed knyttet til angivelse af vægte.* Som for indeksværdierne er der meget stor sandsynlighed for at vægte knyttet til kriterierne ændrer sig med tiden. Derfor er det relevant at kunne undersøge effekten heraf. Mulighederne skal være analoge til indeksværdierne.

Igen vil forhåndenværende regneark vise, hvilken information brugeren skal angive for at udføre analysen. Resultaterne af de forskellige analyser vises i tabeller eller grafisk, hvor man skal se forskellen mellem den oprindelige løsning og den nye løsning.

Man skal til enhver tid kunne vælge en ny analyse, så man i princippet kan undersøge alle tilgængelige muligheder. Til sidst skal det være muligt at få opsummeret resultatet af de analyser, man har foretaget.

4.1.4 Opsummeringsmodul

Formålet med opsummeringsmodul er simpelthen at give et overblik over input, specificeringer og resultater på en måde, der vil give en anden person et indblik i, hvad der er gjort. Dette er angivet i figur 4.6.



Opsummering og præsentation af basis information, metode specifikationer, resultater af usikkerhedsanalyser. Anvendes til overblik, samt vise personer, der ikke har været direkte involveret i anvendelsen af modellen

Figur 4.6 Oversigt over nogle af mulighederne der er knyttet til opsummeringsmodulet.

Opsummeringen skal kunne vises på en pæn overskuelig måde, der umiddelbart kan anvendes til at vise for andre eller blive inkluderet i en rapport.

4.2 Kommentarer

På mange måder kan man sige, at DEFINITE modellen har været basis for den ovenstående foreslåede modelramme. På to områder adskiller modelrammen sig dog fra DEFINITE (for ikke at nævne andre mindre detaljer). For det første er der lagt vægt på, at modelstyresystemet er Windows, så man nemt kan 'hoppe' ud og ind af forskellige vinduer og dermed have lettere adgang til at 'hoppe' fra et modul til et andet. Dette fremmer en iterativ brug af modellen og øger derfor sandsynligheden for, at man opnår en bedre løsning. For det andet er her lagt meget vægt på, at man skal strukturere problemet. Strukturering kan i sig selv give en bedre indsigt i problemet og dets usikkerheder, hvorfor sidstnævnte kan mindskes betydeligt. Begge ændringer er rettet mod mindskning og synliggørelse af usikkerhed.

Struktureringsprocessen er her nævnt som noget specielt. Ved enhver problemløsning foregår der en eller anden form for problemstrukturering til udvælgelse af de faktorer, der er vigtige for problemet. Den måde, der er lagt op til her bygger på, at man anvender en eller anden metode til at finde de centrale faktorer, der skal indgå til definitionen af alternativer. Nogen gange vil en del af faktorerne være givet i og med, at problemer ofte har et helt bestemt formål og beslutningstagerne ønsker at løse problemet ved primært eller i al fald at involvere visse faktorer. Andre gange skal faktorerne findes fra næsten bar bund. Det er ovenfor antaget, at ikke alle faktorer nødvendigvis er fundet. Det er forfatterens opfattelse, at man ofte kun undersøger de faktorer, som umiddelbart er givne og som har direkte relevans til det problem man står overfor. Men desværre betyder det ikke, at der ikke kan være andre faktorer, der har stor indflydelse på problemet. Faktorer der er indirekte knyttet til problemet, kan være yderst relevante at medtage for at få en fuldstændig og fyldestgørende dækning af problemet. Hvis man ikke finder alle de for problemet relevante faktorer, er der ingen nytte af at undersøge alle mulige usikkerhedsaspekter. Til identifikation af de mest betydende faktorer kan eventuelt anvendes nogle principper fra den såkaldte Cross Impact Analysis eller Delphi proceduren (se for eksempel Selwyn, 1971). Anvendelse heraf er omtalt i del 1 af rapporten.

For at angive indekssværdier må der tages fat i den information, der er tilgængelig. Ofte vil sådanne faktorer være et resultat af en lang række sammenhænge, så man er nødt til at anvende en simuleringsmodel af en eller anden slags, hvor informationen kan beregnes. Det er i det ovennævnte underforstået, at denne information kan findes og at den findes, hvor den er bedst tilgængelig og mest pålidelig.

Det antages, at kriterier og deres vægte er politisk bestemte parametre, man ikke kan regne sig frem til eller få oplysning om på anden måde, end at spørge beslutningstageren, der er interesseret i analyseresultatet.

Den foreslåede modelramme bygger idémæssigt en del på de allerede eksisterende multikriteriebeslutningsstøttesystemer. Der er her skelnet til at modellerne, specielt DEFINITE, har været anvendt i virkelige problemstillinger, og således har en form for erkendelse hos brugere.

5 Opsummering

Multikriteriemetoder finder anvendelse i problemløsningsprocesser gennem multikriteriebeslutningsstøttesystemer. De matematiske modeller er opbyggede omkring en løsningsmetode, hvorved tilgængeligheden af metoderne øges betydeligt. Fælles for både metoder og modeller er opfattelsen af usikkerhed. Der lægges mest vægt på den usikkerhed, man kan forsøge at give et kvantitativt estimat på størrelsen af - den såkaldte tekniske/værdi usikkerhed. Ved betragtning af hele problemløsnings-situationen og de betragtninger, der implicit er gjort ved anvendelsen af en multikriteriemetode, kan man se, at de tekniske/værdi usikkerheder blot afdækker en lille del af den totale usikkerhed, der kan tilknyttes sådanne beregninger. Struktureel usikkerhed er associeret de antagelser og fravalg, man gør sig ved problemidentifikation, strukturering og beskrivelse. Kommunikations usikkerhed er associeret den kommunikation, der foregår mennesker og mennekser imellem uanset om det er mundtligt, skriftligt eller på anden vis (grafer, tal, tabeller).

Løsningernes kvalitet afhænger af, hvor gode antagelser, man har gjort sig om problemet, dets beskrivelse og specifikationer ud fra brugerens/ videnskabens opfattelse. Man kan også sige, at det rent faktisk kan være ligegyldigt at foretage nogle beregninger om teknisk/værdi usikkerhed, hvis alle beregninger er foretaget på et grundlag, der ligger langt fra den virkelige verden. Grundlæggende er det forfatterens opfattelse, at den strukturelle usikkerhed er den mest dominerende i problemløsnings-situationer. Samtidig er det den usikkerhed, der lægges mindst vægt på i analyser.

For at opnå forbedringer af resultater opnået med multikriteriemetoder, er det her foreslået at konstruere et beslutningsstøttesystem, der henstiller opmærksomheden på usikkerheder knyttet til hele problemløsningsprocessen og dermed også til stukturelle og kommunikationsusikkerheder. En model ses som en nødvendighed for at fremme tilgængeligheden og anvendelsen af multikriteriemetoder. Der er i denne del af rapporten foreslået en modelramme, der netop tager hensyn til overordnede usikkerhedsaspekter knyttet til strukturering af problemet, valget af metoden som anvendes, input til selve beregningerne, samt præsentationen og fortolkning af resultaterne. Der er ikke gjort noget specielt for at kvantificere eller 'måleligt' mindske usikkerheden. Formålet med modelrammen er først og fremmest at gøre brugere opmærksomme på eksistensen af usikkerheden og dens forskellige typer. Man kan aldrig slippe for usikkerhed, men ved at håndtere den på fornuftig vis, kan man lære at leve med den, der er tilbage.

Referenceliste

Bana e Costa, C. and Vansnick, J-C. (1994): The MACBETH approach: General overview and applications. In: Pardalos, P.M., Siskos, Y., and Zoppundis (eds) (1994): *Advances in Multicriteria Analysis*. Kluwer Academic Publishers. (in print).

- Forman, E.:** *EXPERT CHOICE*. Decision Support Software, Inc., McLean, VA, USA.
- Friend, J. (1989):** The strategic choice approach. In: **Rosenhead, J. (ed.) (1989):** *Rational analysis for a problematic world. Problem structuring methods for complexity, uncertainty and conflict*. John Wiley and Sons, Chichester, England.
- Hämäläinen, R.P. (1992):** Politics & Policy. Decision analysis makes its way into environmental policy in Finland. *OR/MS Today*, June 1992, pp. 40-43.
- Janssen, R. (1992):** *Multiobjective Decision Support for Environmental Management*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Korhonen, P.J. and Laakso, J. (1986):** A Visual Interactive method for solving the multiple criteria problem. *European Journal of Operational Research*, vol. 24, no 2, pp. 277-187.
- Rowe, W.D. (1994):** Understanding Uncertainty. *Risk Analysis*, vol. 14, no 5, pp. 743-750.
- Selwyn, E. (1971):** Delphi and Cross Impact Techniques; an effective combination for systematic futures analysis. *Futures*, vol 3, pp. 48-61.
- Stewart, T.J. (1992):** A Critical Survey on the Status of Multiple Criteria Decision Making Theory and Practice. *OMEGA, International Journal of Management Science*, vol. 20, no 5/6, pp. 569-586.
- Sørensen, L. (1994):** *Environmental Planning and Uncertainty*. Risø-R-709(EN), Risø National Laboratory.

Konklusion

Konklusion

Gennem rapportens tre dele er forskellige aspekter af anvendelse af multikriteriemetoder i energiscenarieanalyser blevet belyst, og det er blevet diskuteret, hvorledes man kan sikre en mindskning af usikkerheder tilknyttet til anvendelsen af disse metoder i scenarieanalyser.

Projektet har vist, at energiproblemstillinger byggende på bæredygtighedsprincipper er af en kompleks karakter og kan beskrives som et multikriterieproblem. Scenarieanalyse er en vigtig parameter til vurdering af mulige energistrategier og til udvælgelse af den eller de bedste, der kan bruges som basis for formulering af energiplaner. Ved evalueringen, der foretages som en del af scenarieanalysen, foreslås det at anvende multikriteriemetoder.

Såfremt man ønsker at anvende multikriteriemetoder som en del af scenarieanalyse, stiller det krav til at man dels kan identificere den metode, der er mest egnet og dels, at man kan anvende denne og mindske den usikkerhed, der vil være knyttet til evalueringsproceduren.

På trods af at multikriteriemetoderne er af relativ ny oprindelse, eksisterer der mange forskellige byggende på forskellige løsningsprincipper. Principperne er varierende i matematisk kompleksitet, forudsætninger antaget i forbindelse med problemløsning og deres fokus på håndtering og mindskning af usikkerheder. Det kan være vanskeligt, som bruger, at udvælge den metode, der er mest egnet til energiscenarieevaluering. Med basis i den udvælgelsesproces en bruger sandsynligvis ville gå igennem, er der identificeret fem kriterier, der kan anvendes som krav til den metode, man ønsker at bruge. Kriterierne, der er lagt vægt på, er metodens niveau af gennemsigtighed (umiddelbar forståelse af metodens idé), brugbarheden af metoden overfor det givne problem, raffinementet af de matematiske beregninger i metoden, informationsbehovet for beregningerne samt fleksibiliteten af metoden (dens måde at håndtere aspekter af usikkerhed på). Til vurdering af forskellige metoders opfyldelse af kriterierne er der foreslået nogle spørgsmål, der er vægtet og kan gives point alt efter, hvor godt de opfyldes. For at få udtrykt resultatet af vurderingen, er det foreslået, at man anvender en ellipse til at repræsentere værdien af de enkelte krav på grafisk måde. På denne måde er det relativt overskueligt at udvælge en metode, der opfylder de krav en bruger vil stille til multikriteriemetoderne. Det skal nævnes, at de kriterier og spørgsmål, der er foreslået som basis for vurderingen her, naturligvis kan ændres eller erstattes af andre, såfremt man synes, at de bedre er bedre egnet for en sådan vurdering.

Ved en sammenligning af ni eksisterende multikriteriemetoder er princippet af ovenstående udvælgelsesproces illustreret. Ved sammenligning af de ni metoder kan det konkluderes, at mange multikriteriemetoder er matematisk komplicerede, og at der ikke lægges meget vægt på usikkerheder i beregningerne.

Det vurderes, at såfremt man ønsker at anvende multikriteriemetoder som del af energiscenarieanalyser, skal det foregå i form af modeller eller multikriteriebeslutningsstøttesystemer. Derfor er eksempler på sådanne systemer præsenteret. Præsentationen

har dannet basis for at identificere og diskutere punkter, hvorpå man kan forbedre anvendelsen af metoderne/modellerne, så usikkerhed mindskes.

Det er i projektet overvejet, hvorvidt det vil være muligt at udbygge/ modificere algoritmerne bag multikriteriemetoderne, således at man kan beregne kvantitative estimater for usikkerheden direkte under beregningerne. Det er konkluderet, at en sådan udbygning ville komplicere metodernes anvendelse og give en reel fare for mindskning af gennemsigtigheden af metoderne. Det er set ved eksisterende metoder, der allerede har indbygget særlige hensyn til usikkerhed.

Det er konkluderet, at usikkerhedsaspekter bedst kan mindskes ved dels at gøre det muligt ved anvendelse af beslutningsstøttesystemer at undersøge kvantificerbare usikkerheder knyttet til selve multikriterieanalysen og dels at strukturere den analyse, der skal foretages inden selve multikriterieevalueringen. Projektet foreslår derfor en modelramme, hvori det vil være muligt at undersøge kvantificerbare usikkerheder hovedsageligt knyttet til selve evalueringen og det tal input, der gives hertil. Projektet diskuterer ligeledes enkelte punkter, der kan være kritiske for det input, der gives til evalueringen - punkter, som med fordel kan fokuseres på, så man opnår en mere formaliseret og struktureret scenarieanalyseproces.

Multikriteriemetoder er her anset for at være et godt alternativ til traditionelle evalueringemetoder. Det skal dog ikke forstås på den måde, at multikriteriemetoderne ubetinget er bedre og skal bruges i stedet for traditionelle metoder. Forfatteren er af den opfattelse, at metoderne giver et godt fundament for at undersøge forskellige trade-off løsninger til energiproblemer. Ved anvendelse af metoderne (eller modellerne) som en del af scenarieanalyse, kan der på nogen måder sikres et mere direkte politisk-analytisk samarbejde og dermed indsigt end mere traditionelle metoder tilbyder. Samarbejdet foregår i det mindste via specificering af prioriteter, krav og kriterier og tvinger hermed en form for dialog igennem. På den anden side er der nogle mere komplicerede sider ved metoderne. De kan synes formalistiske på den måde selve problemet skal defineres, og det at anvende metoderne kan i sig selv ikke sikre, at energistrategier løses med den rette del af politisk og analytisk indflydelse. Metoderne skal ses som en mulighed for at søge støtte og få problemer belyst på en anden måde.

Stikordsregister

Stikordsregister

A

Analytiske Hierarki Proces • 37

B

Brugbarhed • 44; 47

C

Cross Impact Analyse • 21

D

Delphi metode • 21

E

Eksterne faktorer • 20

ELECTRE • 4; 37; 39; 58; 59; 60; 62;
69

Energi 2000 • 11; 13

Evaluering • 3; 11; 17; 19

Evamix • 38; 58; 63

F

Fleksibilitet • 43; 44; 47

Fuzzy sæt • 37; 40

G

GAIA • 39; 47; 49; 51

Gennemsigtighed • 34

H

HIPRE3+ • 58; 60; 61

I

Informationsbehov • 44; 47

IPCC • 22; 28

K

Kommunikations usikkerhed • 76

L

Lexikografisk metode • 37

M

Modelramme • 69

Multikriteriemetoder • 5; 7; 18; 31; 33;
76; 82

P

PROMETHEE • 39; 47; 49

R

Raffinement • 44; 47

Regime • 38; 46; 47; 49; 58; 62

S

Scenarieanalyse • 3; 12; 15; 16; 27; 81

Scenariikonstruktion • 19; 24

STEM • 39; 47; 49

Strukturel usikkerhed • 76

U

Udskilning • 37; 39

Usikkerhed • 64; 65

V

VIG • 40; 47; 49; 51

W

Wierzbicki • 37; 40

Title and authors(s)

Multi Criteria Analysis
Usage of Multi Criteria Methods in Energy Scenario Analysis

Lene Sørensen

| | | | |
|-----------------------------|--------|-------------------------|------------|
| ISBN | | ISSN | |
| 87-550-2104-2 | | 0106-2840 | |
| Dept. or group | | Date | |
| Systems Analysis Department | | August 1995 | |
| Groups own reg. number(s) | | Project/contract no.(s) | |
| ESG 01108.00 | | ENS 1753/98-0100 | |
| Pages | Tables | Illustrations | References |
| 86 | 06 | 16 | 42 |

Abstract (Max. 2000 characters)

The report reflects on various aspects for use of the so-called multi-criteria methods in energy planning. The issues covered in the report are the following: possibilities for use of multi-criteria methods for evaluation of energy scenarios, status of existing multi-criteria methods, criteria for selection of one method to be used, investigation of uncertainty aspects in association with use of the methods, and how these uncertainties can be dealt with by construction and use of decision support systems.

It has been found that there is a potential for usage of multi-criteria methods in energy scenario analyses. An approach is suggested to identify the method which would be the best suited for support of a particular planning situation. The approach is based on user-friendly criteria and graphical presentations offering a clear overview of the advantages of the various methods. Due to the complexity of many of the methods, it is suggested to use decision support systems, fundamentally based on the ideas from multi-criteria methods. Usage of the models can be a part of the planning process and through the necessary structuring of the planning problems, the uncertainties are demonstrated to be dealt with as well.

Descriptors INIS/EDB

ECONOMIC ANALYSIS; E CODES; ENERGY ANALYSIS; ENERGY CONSUMPTION; ENVIRONMENTAL IMPACTS; FORECASTING; INFORMATION NEEDS; MULTI-PARAMETER ANALYSIS; PROBABILISTIC ESTIMATION; RELIABILITY; SOCIO-ECONOMIC FACTORS.

Available on request from Information Service Department, Risø National Laboratory
(Afdelingen for Informationsservice, Forskningscenter Risø, P.O. Box 49,
DK-4000 Roskilde, Denmark
Telephone (+45) 46 77 46 77, ext. 4004
Telex 43 116 • Telefax (+45) 46 75 56 27